

Anàlisi del potencial d'utilització de la calor residual dels Centres de Processament de Dades en aplicacions reals

Treball Final de Grau

David Ribero Juclà

01/04/2016



Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior

Directors: Dr. Eduard Oró Prim i Dra. Ingrid Martorell i Boada

Agraïments

M'agradaria agrair aquest Treball Final de Grau amb el títol "Anàlisi del potencial d'utilització de la calor residual dels Centres de Processament de Dades en aplicacions reals" principalment a dues persones. En primer lloc al Dr. Eduard Oró Prim, doctor i investigador de l'Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC), per haver estat involucrat diàriament en l'evolució i seguiment del TFG paral·lelament a les seves tasques d'investigació en l'àmbit i per ser un dels impulsors de la recerca i deixar-me a l'abast totes les eines disponibles del seu departament. En segon lloc i de forma molt especial a la Dra. Ingrid Martorell Boada tutora d'aquest projecte i principal impulsora per realitzar aquest TFG, la qual ha fet de pont entre l'IREC i jo per a la realització d'aquest.

Agrair també a tots els mestres i professors de la Universitat de Lleida (UdL) del Grau en Enginyeria Mecànica, per haver-me donat tots els coneixements i l'ajuda necessària durant tota la meua etapa universitària que ha culminat en aquest projecte de final d'etapa universitària tan enriquidora.

Índex

1.	Introducció	7
1.1.	Objectiu i abast.....	8
1.2.	Horizon 2020	9
1.2.1.	Què és?.....	9
1.2.2.	L'Energia segons el programa Horizon 2020	9
1.2.2.1.	Principals prioritats	10
1.3.	Centre de Processament de Dades (CPD)	12
1.3.1.	Dades energètiques dels CPDs	12
2.	Model Experimental (IREC)	15
2.1.	Institut de Recerca en Energia de Catalunya	15
2.2.	Caracterització d'un CPD refrigerat per líquid	16
2.2.1.	Configuració de la refrigeració	17
2.2.2.	Metodologia de l'experimentació	18
2.2.3.	Modelatge del sistema	19
2.2.4.	Validació del model	20
2.3.	Càrregues IT.....	22
3.	Utilització del model.....	23
3.1.	Càrrega informàtica.....	23
3.2.	Característiques dels fluids de refrigeració.....	23
3.3.	Configuracions.....	26
3.3.1.	Servidors en paral·lel (Escenari 1)	26
3.3.2.	2 Servidors en sèrie (Escenari 2)	29
3.3.3.	3 Servidors en sèrie (Escenari 3)	32
3.3.4.	4 servidors en sèrie (escenari 4).....	35
3.3.5.	Comparació de resultats	38
4.	Aplicacions per a la reutilització de la calor.	42
4.1.	Calefacció urbana	42
4.1.1.	Definició.....	42
4.1.2.	Característiques tècniques	43
4.2.	Calefacció urbana de Baixa Temperatura	44
4.2.1.	Definició.....	44
4.2.2.	Característiques tècniques	44
4.3.	Piscines cobertes.....	47

4.3.1.	Definició.....	47
4.3.2.	Característiques tècniques.....	47
4.4.	Calefacció individual i ACS en habitatges.....	51
4.4.1.	Definició.....	51
4.4.2.	Característiques tècniques: Calefacció individual.....	51
4.4.3.	Característiques tècniques: Aigua Calenta Sanitària (ACS)	52
4.4.4.	Calefacció i ACS	54
4.5.	Calefacció individual en un edifici d'oficines.....	56
4.5.1.	Característiques tècniques.....	56
4.6.	Calefacció i ACS d'un hospital	59
4.6.1.	Definició.....	59
4.6.2.	Característiques tècniques: Calefacció.....	61
4.6.3.	Característiques tècniques: Aigua Calenta Sanitària (ACS)	62
4.6.4.	Calefacció i ACS	64
4.7.	Calefacció i ACS en hotels.....	66
4.7.1.	Característiques tècniques: Calefacció.....	66
4.7.2.	Característiques tècniques: Aigua Calenta Sanitària (ACS)	68
4.7.3.	Calefacció i ACS	71
4.8.	Resum de les aplicacions d'estudi.....	72
5.	Comparativa entre l'oferta del CPD i la demanda de les aplicacions	77
5.1.	Calefacció de baixa temperatura	82
5.1.1.	Temperatura de servei	82
5.1.2.	Potència.....	83
5.2.	Piscines cobertes.....	92
5.2.1.	Temperatura de servei	92
5.2.2.	Potència.....	92
5.3.	Aigua Calenta Sanitària (ACS) en habitatges.....	94
5.3.1.	Temperatura de servei	94
5.3.2.	Potència.....	94
5.4.	Calefacció individual en un edifici d'oficines.....	102
5.4.1.	Temperatura de servei	102
5.4.2.	Potència.....	103
5.5.	Calefacció en un hospital	111
5.5.1.	Temperatura de servei	111

5.5.2.	Potència.....	111
5.6.	Aigua Calenta Sanitària (ACS) en hospitals	123
5.6.1.	Temperatura de servei	123
5.6.2.	Potència.....	123
Conclusions		129
Bibliografia		132

1. Introducció

En aquest treball final de grau (TFG) s'analitza des d'un punt de vista numèric com poder reutilitzar una calor sobrant i no dissipar-la al mediambient ja que seria una calor útil perduda. D'aquesta manera contribuïm a millorar el mediambient i al reciclatge d'una energia que fins ara era desaprofitada. Per tal d'assolir els objectius s'ha seguit la planificació que es mostra en la Figura 1.

Activitat	Temps de duració																					
	Octubre				Novembre				Desembre				Gener				Febrer				Març	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Inici de projecte																						
Lectura d'articles relacionats amb la matèria (IREC)																						
Visita a les instal·lacions de l'IREC.																						
Elecció de les possibles aplicacions																						
Recerca de dades de potència i temperatures de funcionament de les aplicacions																						
Reunió amb el Dr. Eduard Oró i Dra. Ingrid Martorell a les instal·lacions de l'IREC																						
Manipulació de les dades																						
Estudi del que ens proporciona el CPD segons el model desenvolupat per l'IREC																						
Definir les aplicacions d'estudi																						
Dimensionament del CPD																						
Encaix de les aplicacions amb el CPD																						
Dimensionament de la bomba de calor																						
Realització de la memòria																						

Figura 1: Planificació temporal de les tasques a realitzar mitjançant un diagrama de Gantt.

1.1. Objectiu i abast

L'objectiu principal d'aquest treball fi de grau (TFG) és estudiar el potencial d'utilització de la calor residual d'un centre de processament de dades (CPD) en aplicacions reals, situades geogràficament en territori català i/o espanyol. El potencial d'utilització tracta d'aprofitar la calor dissipada pels servidors i utilitzar-la per a la generació, per exemple, d'aigua calenta per a la calefacció d'una sala i/o edifici. Amb la finalitat de reduir les despeses energètiques del mateix CPD. L'últim objectiu del projecte és estudiar l'estalvi energètic que suposa la refrigeració convencional d'un CPD.

El TFG inclourà dues parts diferenciades, la primera serà l'anàlisi del CPD, i la segona l'estudi de les aplicacions sobre les quals es treballarà. En l'anàlisi del CPD es definiran diferents escenaris amb diferents configuracions i s'estudiaran les sortides que s'aconsegueixen a nivell de temperatura, potència de refrigeració, pèrdues tèrmiques, etc. En l'estudi de les aplicacions, s'estudiaran les demandes tèrmiques (calefacció i/o Aigua calenta sanitària (ACS)) de diferents tipologies d'edificis (habitatges, hospitals, centres esportius, oficines, etc.). Es compararà la demanda de cada aplicació i l'oferta que ens genera el CPD i es buscaran solucions alternatives per arribar a la demanda si l'oferta no és suficient.

En l'anàlisi del CPD l'IREC m'ha proporcionat un model ja validat que utilitza aigua líquida com a refrigerant del CPD i ens proporciona les temperatures de sortida de l'aigua i la calor absorbida per aquesta per poder ser reutilitzada. Tot això a petita escala. A partir d'aquest model la tasca és analitzar si amb aquesta calor absorbida i les temperatures de sortida es pot aprofitar per alguna aplicació real.

Quedarà fora de l'abast d'aquest projecte el disseny concret del sistema de canonades i equips necessaris per donar els serveis a les aplicacions d'estudi. Tampoc es realitzarà un estudi econòmic en el qual es quantifiqui l'estalvi exacte que s'aconsegueix.

1.2. *Horizon 2020*

1.2.1. *Què és?*

És un programa i instrument financer de l'ampliació de la Unió Europea (UE) per la Innovació, una iniciativa emblemàtica d'Europa 2020 dirigida a assegurar la competitivitat global a Europa [1].

Els objectius estratègics del programa Horizon 2020 són:

- a) Crear una ciència de excel·lència

L'objectiu és reforçar la posició de la UE en el panorama científic mundial.

- b) Desenvolupar tecnologies i les seves aplicacions per millorar la competitivitat europea

Consisteix en grans inversions en tecnologies claus per la indústria, com Tecnologies de la Informació i Comunicació (TIC), les nanotecnologies, fabricació avançada, la biotecnologia i l'espai.

- c) Investigar en grans qüestions que afecten als ciutadans europeus.

L'atenció es centra en sis àrees essencials per una vida millor: salut, alimentació i agricultura incloent les ciències del mar, *energia*, transport clima y matèries primeres, societats inclusives i seguretat.

L'àrea en la qual està centrada aquest estudi és en l'energia. El departament d'energia del programa d'Horizon 2020 es centra en realitzar la transició a un **sistema energètic fiable, sostenible i competitiu**.

1.2.2. *L'Energia segons el programa Horizon 2020*

L'energia és un factor clau per la competitivitat econòmica i l'ocupació. El sistema energètic actual basat en els combustibles fòssils és insostenible [2]. Degut a l'escassetat de recursos i al impacte negatiu sobre el medi ambient. Per tant el Consell Europeu ha decidit que la UE exigeix descarbonitzar el seu sistema d'energia per l'any 2050.

Per oferir als ciutadans europeus una oferta de fonts d'energia més amplia, respectant els drets dels Estats membres per decidir sobre la seva pròpia combinació energètica, diferents tecnologies de l'energia i les TIC han d'estar presents. Al mateix temps, han de complir la línia d'evolució del programa Horizon 2020:

- Reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle en un 20% al 2020.
- Una reducció addicional del 80% fins al 95% al 2050.

Per tant, la investigació en l'àmbit de l'energia és una àrea molt complexa que inclou diferents tecnologies i abasteix els següents camps:

- L'energia no nuclear (energia solar concentrada, energia fotovoltaica, eòlica, hidràulica, geotèrmica, bioenginyeria, piles de combustible i hidrogen, xarxes elèctriques, captura i emmagatzematge de carboni, emmagatzematge d'energia, eficiència elèctrica, ciutats intel·ligents, *reaprofitament d'energies residuals*, etc.)
- L'energia nuclear (fissió i fusió)

L'objectiu energètic d'aquest programa europeu és el de donar suport a la transició a un sistema energètic fiable, sostenible i competitiu. Per assolir aquest objectiu s'ha de superar alguns entrebancs com l'escassetat dels recursos, l'augment de les necessitats energètiques i el canvi climàtic [3].

L'estructura d'aquest programa energètic gira al voltant de set objectius i àrees d'investigació:

- 1- Reduir el consum d'energia i la generació de carboni
- 2- Subministrament d'electricitat de baix cost i baix en carboni
- 3- Combustibles i fonts d'energia alternatives
- 4- Una xarxa elèctrica europea única i intel·ligent
- 5- Nous coneixements i tecnologies
- 6- Presa de decisions i compromís públic
- 7- Captació de mercat i innovació de l'energia i les TIC.

1.2.2.1.Principals prioritats

El programa de treball per a tenir una energia segura, neta i eficient, es divideix en les següents àrees d'interès:

- Eficiència energètica:

La UE té com objectiu disminuir progressivament el consum d'energia primària el 2020 i el 2030. Les activitats d'investigació i demostració dins d'aquesta àrea es centraran en els edificis, la indústria, la calefacció i refrigeració, les petites i mitjanes empreses (PIME) i els productes i serveis relacionats amb l'energia, la integració de els TIC i la cooperació amb els sectors de telecomunicacions.

- Tecnologies baixes de carboni

Desenvolupar i aportar al mercat solucions tecnològiques assequibles, rendibles i eficients de recursos per descarbonitzar el sistema energètic d'una manera sostenible, i el subministrament d'energia segura. Les activitats de recerca dins d'aquesta àrea comprendran: fotovoltaica, concentrat d'energia solar, energia eòlica, energia dels oceans, hidroelèctriques, generació d'energia geotèrmica, calefacció i refrigeració renovables, emmagatzematge d'energia, biocombustibles i combustibles alternatius, la captura i emmagatzematge del carboni.

- Comunitats i ciutats intel·ligents

Desenvolupament sostenible de les zones urbanes és un repte de gran importància. Requereix de serveis i tecnologies noves, eficients i fàcils d'utilitzar, en particular en les àrees d'energia, transport i les TIC. No obstant això, aquestes solucions necessiten enfocaments integrats, tant en termes de recerca i desenvolupament de solucions tecnològiques avançades, així com la seva implementació. L'enfocament en tecnologies per a ciutats intel·ligents es traduirà en solucions a escala comercial amb un alt potencial de mercat.

1.3. Centre de Processament de Dades (CPD)

Centre de Processament de Dades (CPD o “Data Center” amb anglès) és aquella ubicació on es concentren tots els recursos, principalment tecnològics, informàtics i de comunicacions, necessaris per al processament de la informació d’una organització i serveis de comunicació. Així doncs bàsicament és una sala o edifici utilitzada per ubicar-hi equipament electrònic (servidors, sistemes d’emmagatzematge, etc.) utilitzats per tenir accés a informació necessària per al seu funcionament (informació de clients i/o usuaris, comptes bancaris, transaccions monetàries, etc.) durant les 24 h del dia tots els dies de l’any. A la Imatge 1 es mostra una sala CPD de la companyia Google.



Imatge 1: Imatge interior d’un CPD de la companyia Google. [4]

1.3.1. Dades energètiques dels CPDs

En els darrers anys l’augment de l’ús d’internet, l’emmagatzematge de dades a la xarxa, etc. ha donat lloc a un augment exponencial de la construcció de CPDs i com a conseqüència un augment de consum energètic per part d’aquests. Com s’ha dit anteriorment els CPDs funcionen 24 hores al dia tots els dies de l’any, això lligat a la miniaturització dels components, dóna lloc a un augment de la densitat energètica d’aquests tipus d’edificis. Amb aquestes premisses comença a ser preocupant l’impacte mediambiental d’aquesta tipologia de centres. Sent els responsables de l’1,3% del consum d’electricitat mundial al 2012 [5].

Actualment 5,75 milions de nous servidors són instal·lats cada any. Segons els experts l’evolució temporal del creixement dels CPDs continuarà a l’alça de manera exponencial (Figura 2). Es preveu que hi hagi un augment del 4300% de les dades generades a nivell global fins l’any 2020 [6].

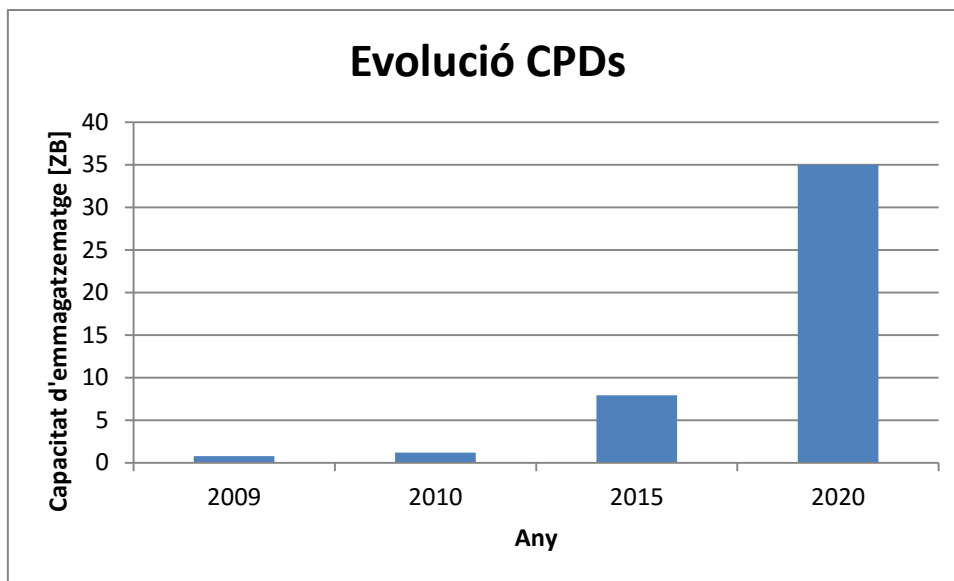


Figura 2: Evolució prevista de la capacitat d'emmagatzematge necessària dels CPDs fins l'any 2020 [6]. Capacitat d'emmagatzematge en ZettaBytes (10^{21} bytes).

En la Figura 3 es pot veure la distribució energètica d'un centre de dades segons la companyia Emerson Network Power:

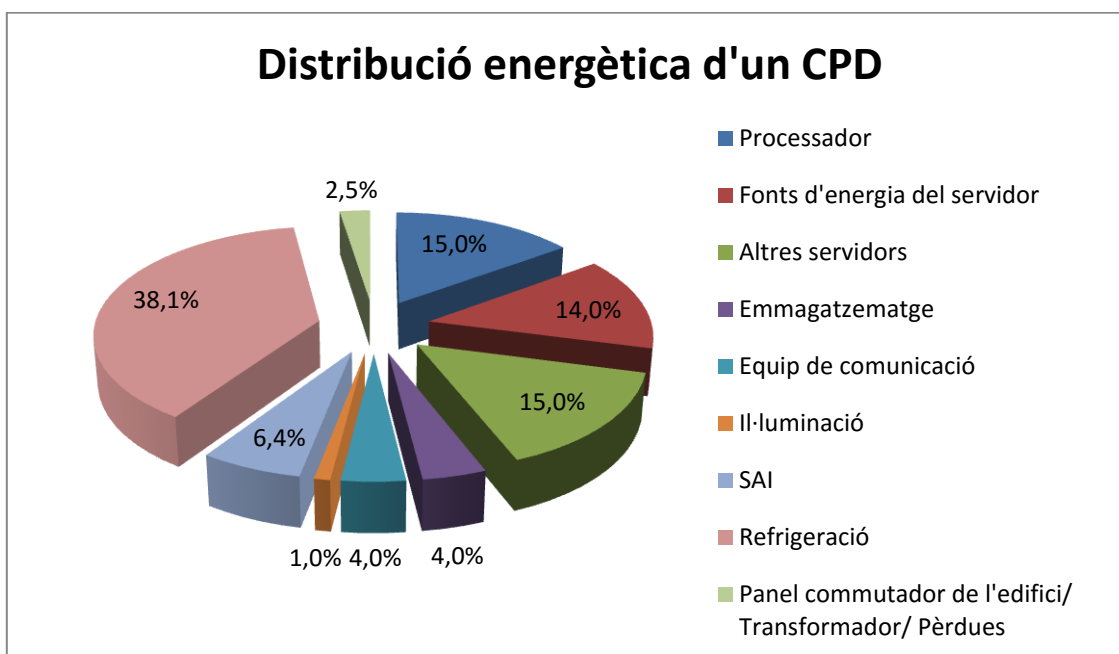


Figura 3: Distribució energètica d'un CPD segons Emerson Network Power [7].

Com es pot observar la major part de l'energia d'un CPD està destinada a la refrigeració del servidors (38,10%), ja que la major part de la potència consumida per l'equip es converteix en calor i per tant ha de ser refrigerat per evitar danys en aquest. Convencionalment aquesta refrigeració s'ha fet per aire tot i sent, des d'un punt de vista energètic, eficientment baix. Veient la tendència d'augment de la densitat energètica d'aquests centres, els recursos que es destinen per a la seva refrigeració per aire i la baixa eficiència d'aquest mètode, s'està investigant la refrigeració del sistema per un mitjà líquid, ja que el mitjà líquid té una capacitat

d'eliminació de calor més alta i la capacitat de refrigerar un component específic. Algunes aplicacions utilitzen oli mineral¹ per refrigerar o l'aigua, que és més comú més barat i té la possibilitat de reutilitzar aquesta calor d'una manera més versàtil.

Una de les possibilitats utilitzant la refrigeració líquida (aigua) és utilitzar el CPD com una central tèrmica. És a dir extreure la major part de la calor generada pels servidors mitjançant un líquid (aigua) i utilitzar-lo per subministrar l'energia tèrmica a un punt de consum determinat per una aplicació determinada. Aquests punts de consum i aplicacions vindran determinades segons les característiques tèrmiques de l'aigua de sortida.

Característiques tèrmiques del líquid de refrigeració (aigua líquida):

- Temperatura final → Temperatura de l'aigua una vegada ha refrigerat tots els servidors. L'aigua entra a una temperatura determinada en els servidors (Ex. 20 °C). Una vegada ha refrigerat els components escalfats i hagi absorbit la calor dissipada per aquests, evidentment, puja la temperatura d'aquesta. La temperatura de sortida variarà segons les configuracions del sistema de refrigeració, que s'explicaran posteriorment.
- Potència tèrmica → Es refereix a la calor absorbida per l'aigua dels components a refrigerar. Aquesta variarà segons les configuracions, igual que passa amb la temperatura.

A partir d'aquestes característiques es podrà valorar quins estalvis energètics es poden obtenir. Si amb aquestes característiques podem abastir el 100% de la demanda l'estalvi serà molt considerable. Ara bé, si les temperatures i/o la calor no són suficients per subministrar el 100% de la demanda, una part de la demanda serà coberta pel CPD i l'altra serà coberta per una font de calor convencional (caldera). I d'aquesta manera aconseguirem la reducció de la càrrega de treball de la caldera. Així doncs obtenim també un estalvi. No obstant, de les dues maneres ens estalviem l'alt cost que suposa actualment la refrigeració per aire i a més a més la reutilització d'aquesta calor en menor o major mesura.

¹ Producte derivat de la destil·lació del petroli utilitzat per a transportar energia tèrmica d'un lloc a un altre [26].

2. Model Experimental (IREC)

2.1. *Institut de Recerca en Energia de Catalunya*

L'Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC) amb seus a Barcelona i Tarragona. Va ser creat per contribuir en l'objectiu de fer un futur energèticament més sostenible tenint present la competitivitat econòmica i proveint la societat amb la màxima seguretat energètica. Finançat amb capital públic de la Generalitat de Catalunya, Govern d'Espanya i la Unió Europea [8].

La missió de l'IREC és contribuir al desenvolupament sostenible de la societat i augmentar la competitivitat de les empreses mitjançant:

- Innovació i desenvolupament de nous productes tecnològics.
- Recerca a mitjà i llarg termini.
- Desenvolupament científic i coneixement tecnològic en l'àmbit de l'energia.

Tenint com a visió esdevenir un centre d'excel·lència i de referència internacional en les línies tecnològiques d'acció establertes, mitjançant la recerca, el desenvolupament tecnològic, la innovació i el treball en coordinació amb l'administració pública, les empreses i les universitats.

Els objectius de l'IREC són:

- Promoure i desenvolupar la recerca en energia per obtenir resultats d'alt valor científic i tecnològic a mitjà i llarg termini.
- Liderar el desenvolupament de les línies tecnològiques energètiques aprovades per l'Institut, orientant-les a les demandes de les empreses del sector.
- Oferir serveis d'enginyeria d'alt valor afegit a les empreses del sector energètic.
- Esdevenir consultor estratègic per a l'Administració en temes d'energia.
- Construir una xarxa de col·laboracions amb els principals centres tecnològics i de recerca nacionals i internacionals en l'àmbit energètic.
- Oferir a les empreses i als emprenedors les innovacions tecnològiques fruit de la recerca.
- Col·laborar en la formació especialitzada de les universitats catalanes.
- Posar a disposició dels departaments de les universitats els laboratoris i equipaments de l'Institut.

L'IREC s'organitza segons l'organigrama de la Figura 4. On es veu que es divideix en diferents àrees d'estudi. En el cas que ens centra estaria ubicat en l'àrea d'energia tèrmica i edificació amb la col·laboració directa del Dr. Eduard Oró Prim.

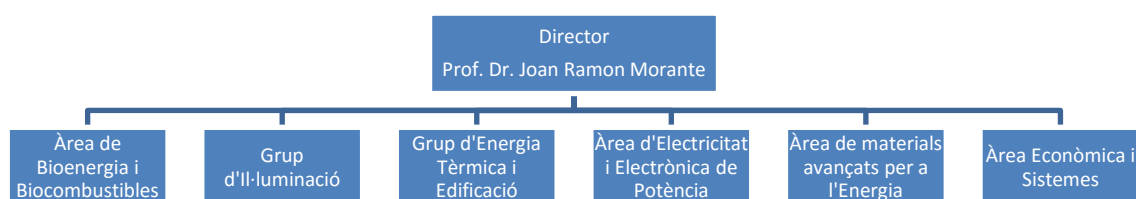
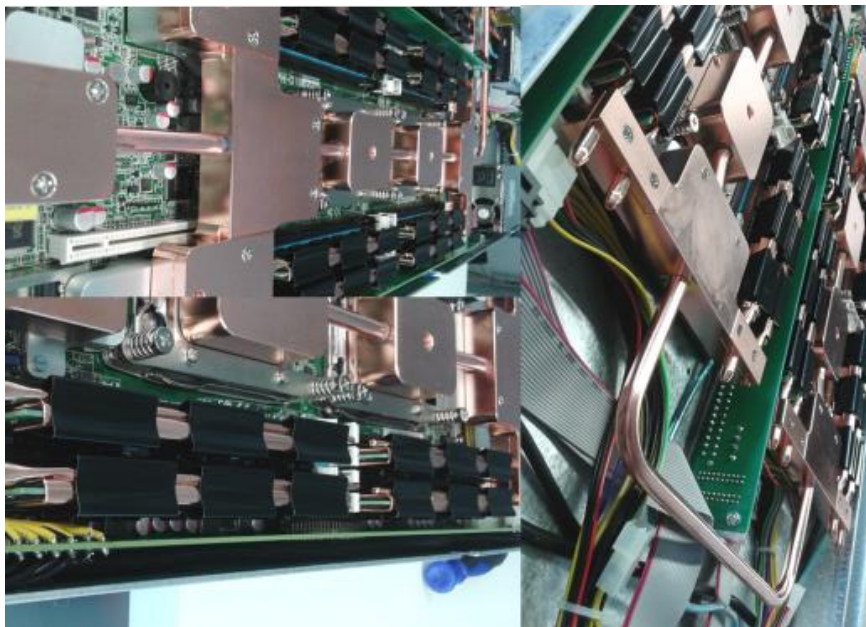


Figura 4: Estructura de l'IREC [8].

2.2. Caracterització d'un CPD refrigerat per líquid

Carbó et al. [5] ha desenvolupat un model numèric per a avaluar el potencial de reutilització de calor d'un CPD amb refrigeració líquida. Prèviament va caracteritzar experimentalment un micro CPD amb una potència màxima de 1,2 kW. Així doncs han pogut determinar les característiques tèrmiques de l'aigua de refrigeració de sortida d'un CPD a petita escala. Aquest CPD està ubicat a les instal·lacions de l'IREC a Tarragona. S'ha dissenyat i construït en un "*Semi-Virtual Energy Integration Laboratory*" a l'IREC. Aquest laboratori permet controlar les condicions climàtiques de temperatura i humitat relativa.

El CPD està refrigerat per líquid (aigua) i per aire. Per tant hi ha una xarxa de canonades que proporciona la refrigeració directament als components (Imatge 2) que realment s'escalfen en un servidor: CPU (Unitat Central de Processament) i a la memòria RAM [5], representant un 75% de la potència a refrigerar. D'altra banda, també hi ha un sistema de refrigeració per aire (25%).



Imatge 2: Xarxa de canonades per on passa l'aigua que refrigera els components [5].

El CPD es compon de dos prestatges independents que es col·loquen dins un bastidor comercial (rack). Cada un dels prestatge té dos servidors d'una potència màxima d'uns 300 W. Els servidors es componen per 2 processadors Intel Xeon de 8 nuclis cadascun.

2.2.1. Configuració de la refrigeració

Segons la disposició de la xarxa de canonades es pot definir una configuració en paral·lel o en sèrie:

Configuració en paral·lel

En una configuració en paral·lel l'aigua freda de refrigeració es divideix per igual en tots dos prestatges, per tant les condicions d'entrada (temperatura i cabal) seran les mateixes per tots dos. Així doncs, el cabal total d'aigua serà el doble del d'un sol prestatge. Si la càrrega del servidors (càrrega IT², posteriorment s'explica amb més detall) és similar les condicions de l'aigua de sortida han de ser similars.

En la Figura 5 es veu l'esquematzació de la configuració en paral·lel, on s'hi pot observar un rack amb els seus dos respectius prestatges (servidor 1 i servidors 2) i com l'aigua freda es divideix per igual per tots dos en l'entrada. En la sortida, on les característiques tèrmiques haurien de ser similars si les càrregues de treball dels dos servidors són iguals, l'aigua calenta es torna a ajuntar en una sola canonada.

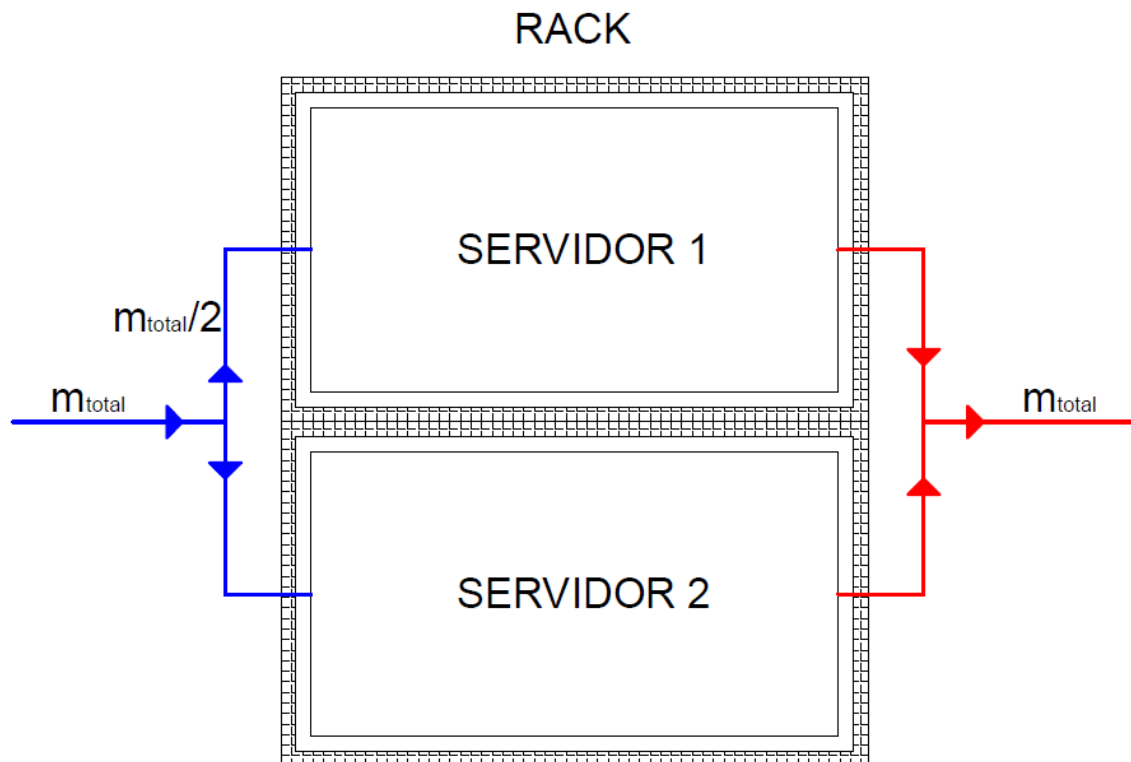


Figura 5: Esquema de la configuració en paral·lel.

Configuració en sèrie

Tal com es pot veure en la Figura 6 en la configuració en sèrie l'aigua de sortida d'un prestatge és l'entrada de l'altre. És a dir, l'aigua freda entra en un dels prestatges, aquesta s'escalfa en el procés de refrigeració del primer servidor i entra en el següent per refrigerar el segon servidor. Per tant s'espera que l'aigua de sortida final estigui a més alta temperatura que en la

² Demanda informàtica que ha de cobrir el servidor.

configuració en sèrie, però s'ha de tenir en compte que l'aigua d'entrada ha de ser inferior a 40 °C segons les especificacions del fabricant com es pot veure en Taula 1 [5].

Paràmetre	Mínim	Màxim
Temperatura d'entrada de l'aigua	20 °C	40 °C
Temperatura d'entrada de l'aire	18 °C	27 °C

Taula 1: Especificacions del fabricant de les temperatures d'entrada dels fluids refrigerants.

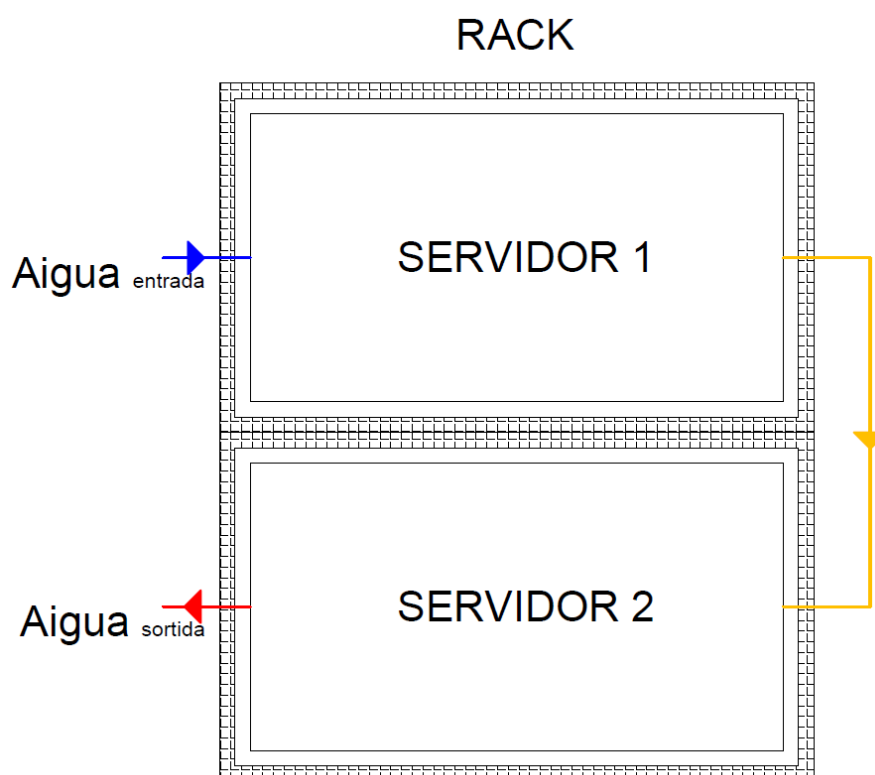


Figura 6: Esquema de la configuració en sèrie.

2.2.2. Metodologia de l'experimentació

A l'IREC i prèviament a la realització d'aquest projecte s'han fet una sèrie d'experiments. Per dissenyar els experiments s'ha tingut en compte les indicacions del fabricant per la refrigeració líquida (Taula 2). Així doncs, l'experiment s'ha realitzat variant la temperatura de l'aigua d'entrada de 20 a 40 °C en increments de 4 °C, i el cabal de 0,5 a 1,5 [l/min] en increments de 0,5 [l/min]. Com s'ha explicat anteriorment, es necessari que tingui una aportació de refrigeració per aire. Però en l'experimentació preliminar, l'equip de recerca de l'IREC va veure que la variació d'entrada d'aire de refrigeració no tenia cap efecte considerable en la càrrega informàtica ni en la temperatura de la CPU (Figura 7). Ara bé sí que tenia un efecte sobre la placa base a nivell de temperatura (Figura 7). On les temperatures de funcionament són entre 60 i 70 °C, sent la màxima admissible de 90 °C. I sempre estava sota aquest rang. Per tant les condicions de l'aire a la cambra climàtica és van mantenir constants, sense variació, en 22,5 °C

i 50% d'humitat relativa (HR) (Taula 3). Per tal de mesurar totes aquestes temperatures es van instal·lar diferents sensors tèrmics en els propis elements per monitoritzar tota aquesta informació.

Paràmetre	Mínim	Màxim
Cabal d'entrada d'aigua per servidor	0,5 l/min	1,5 l/min
Temperatura d'entrada de l'aigua	20 °C	40 °C

Taula 2: Especificacions del fabricant per a la refrigeració líquida.

Cabal (m_{aire})	1470 kg/h
Temperatura ($T_{\text{aire_IN}}$)	22,5 °C
Humitat relativa $HR_{\text{aire_IN}}$	50 %

Taula 3: Característiques físiques i tèrmiques de l'aire d'entrada.

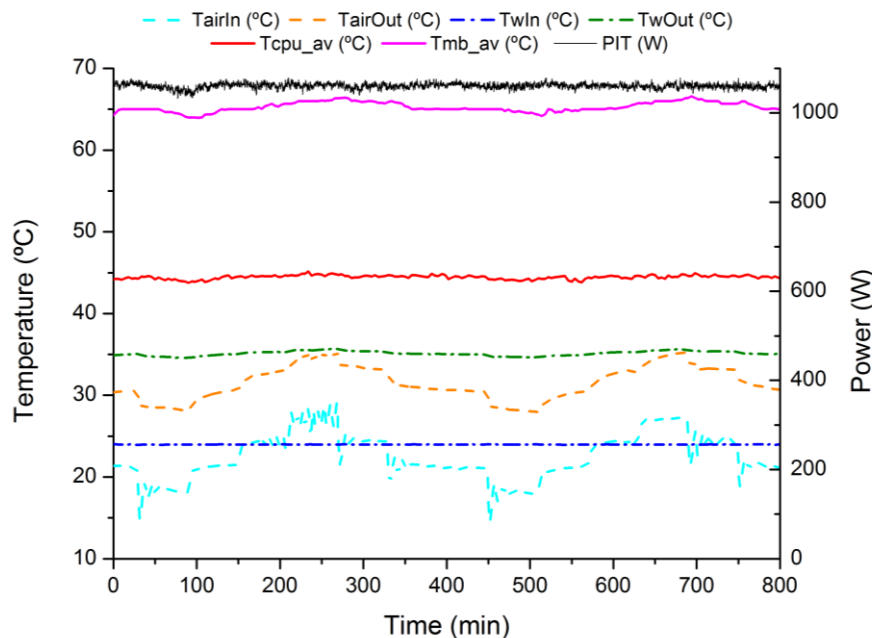


Figura 7: Efecte de la temperatura de la variació de la temperatura de l'aire de refrigeració (T_{airIn}) a les temperatures de la CPU ($T_{\text{cpu_av}}$) i placa base ($T_{\text{mb_av}}$) [5].

Per tal d'estudiar el màxim potencial de reutilització de la calor, la càrrega informàtica (IT) va fixar al valor màxim de 1070 W utilitzant una eina d'estrès, la qual fa treballar al màxim els servidors. Una eina d'estrès és un software que fa treballar al servidor a la màxima potència.

2.2.3. Modelatge del sistema

Per modelar el sistema han utilitzat el programa TRNSYS que és un programa per simular el comportament dels sistemes transitoris. Els principals components amb els que ha treballat l'IREC per modelar el sistema són:

- Càlcul per passar de càrrega informàtica (IT) a consum elèctric.
- "Whitespace" → Simula les condicions climàtiques de la cambra.

- Rack → Simula els servidors i els possibles guanys tèrmics cap a l'exterior i cap a l'aigua.
- Bomba d'aigua → Simula els cabals i les temperatures d'entrada de l'aigua al sistema.

En la Figura 8 es pot observar una esquematització del sistema de refrigeració utilitzat en el programa de simulació TRNSYS. On hi ha una part que calcula el consum elèctric en funció de la càrrega IT, i en l'altra s'observa pròpiament el circuit de refrigeració líquida.

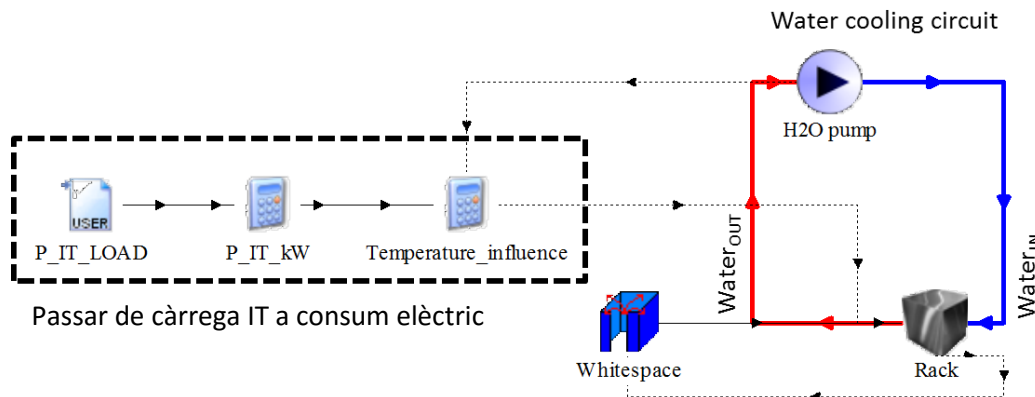


Figura 8: Esquematització per al modelatge del sistema pel programa TRNSYS [5].

Els principals paràmetres per caracteritzar la cambra climàtica són el volum de la cambra (V), la capacitat tèrmica de la cambra (C_{ws}), que inclou les capacitats tèrmiques dels materials de construcció, mobiliari i aire condicionat, i el coeficient global de transferència de calor (UA) de la cambra amb l'ambient exterior. Aquest coeficient s'utilitza per calcular les pèrdues/guanys de la cambra a l'exterior. D'altra banda, els principals paràmetres per caracteritzar el rack a través del model de masses concentrades són la capacitat tèrmica dels equips informàtics (C_{rack}), l'àrea de transferència de calor dels equips a l'aire (A_{rack}) i el coeficient de transferència de calor del rack a l'aire a la cambra ($h_{rack-aire}$).

A partir de les equacions Eq. (1) i Eq. (2) és possible calcular la calor absorbida per l'aire i per l'aigua en cada instant. Realment el que serà útil serà la calor absorbida per l'aigua que podrà se reutilitzada, ja que la calor absorbida per l'aire es dissipa en l'ambient.

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} \cdot C_{aire} \cdot (T_{aire.sortida} - T_{aire.entrada}) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\dot{Q}_{aigua} = \dot{m}_{aigua} \cdot C_{aigua} \cdot (T_{aigua.sortida} - T_{aigua.entrada}) \quad \text{Eq. (2)}$$

2.2.4. Validació del model

L'equip d'investigació de l'IREC per a validar el model ha comparat les dades numèriques que han extret del modelatge del sistema mitjançant el TRNSYS amb les dades experimentals que han extret de l'experimentació. En una primera comparació s'han mantingut constants totes les variables d'entrada (cabal màssic de l'aigua, temperatura d'entrada de l'aigua, consum de potència IT). Tal com es pot veure en la Figura 9 els servidors comencen en una condició de repòs, i una vegada aquests comencen a funcionar s'entra en una fase transitòria fins arribar a un estat estacionari. Durant la fase transitòria s'observa que el model prediu la temperatura de sortida de l'aigua ($T_{w.out}(num)$) sense cap error. Quan el model arriba a la fase estacionària s'observa una variació entre la temperatura que prediu el model i l'experimental ($T_{w.out}$

(exp)) sent aquesta inferior a 0,4 °C. Per tant poden concloure que el model s'adapta força bé a la realitat en aquest aspecte.

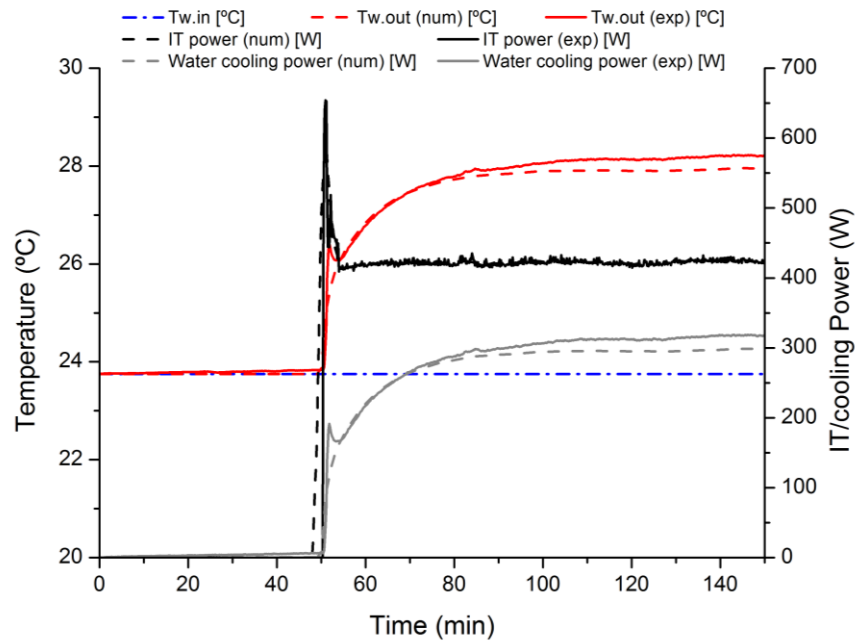


Figura 9: Comparació dels resultats numèric i experimentals per una configuració en paral·lel on la temperatura d'entrada de l'aigua és constant [5].

En la Figura 10 s'observa un escenari dinàmic en una configuració en paral·lel, on han variat la temperatura d'entrada d'aigua de refrigeració ($T_{w.in}$). S'observa que s'ajusta realment bé entre el que prediu el model ($T_{w.out}$ (num) i Water cooling power (num)) i el que passa en l'experimentació ($T_{w.out}$ (exp) i Water cooling power (exp)). Ara bé observem que a mesura que augmentem la temperatura d'entrada de l'aigua el poder de refrigeració d'aquesta disminueix i augmenta el consum elèctric dels servidors (IT power).

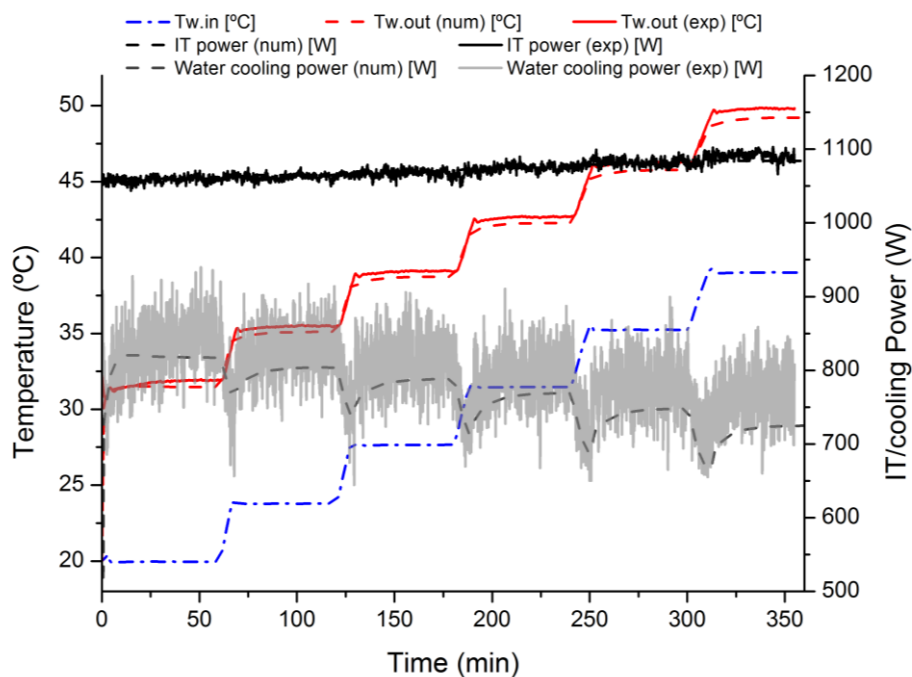


Figura 10: Comparació dels resultats numèric i experimentals per una configuració en paral·lel on la temperatura d'entrada de l'aigua és variable [5].

2.3. Càrregues IT

Les càrregues IT són les diferents tipus de demandes que pot tenir un servidor informàtic. Les quals es poden dividir en:

- Càrrega informàtica HPC: És una càrrega típica de la CPU. Du a terme una gran quantitat d'operacions per a càlculs científics. Degut a que les càrregues de treball poden durar hores, no tenen requisits de temps real. Per tant les operacions de treball poden ser executades hores o dies després de que l'usuari hagi enviat l'ordre. [9]
- Càrrega informàtica WEB: Càrrega de treball que té requisits de temps real. Els usuaris d'aquest tipus de càrrega necessiten una resposta a les peticions en pocs segons (Ex. Cerques a Google, navegació per Facebook, etc.). Aquesta càrrega té la particularitat de seguir un patró diari/setmanal. [9]
- Càrrega informàtica Data: Utilitza generalment la memòria i l'ús intensiu del disc, on a la vegada pot realitzar una alta taxa d'operacions de la CPU per l'anàlisi de dades. Tot i que pot tenir requisits de temps real (cerques a Google), es considera que la càrrega informàtica Data no té requisits de temps real. [9]

Aquestes càrregues realment no és la potència que consumeix el servidor. Per tant l'IREC ha fet un estudi experimental per tal de trobar la correlació entre la càrrega IT i el que realment consumeix el servidor per cada càrrega. En la Figura 11 es pot observar la correlació entre les demandes i el % de potència que utilitza del servidor de les diferents càrregues. Es pot observar que en tots els casos si tenim una càrrega IT del 100% mai estem utilitzant el 100% de la potència del servidor.

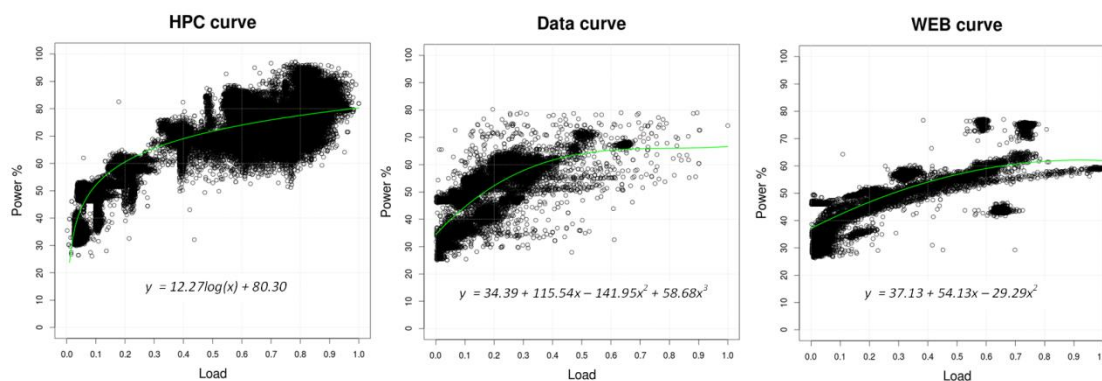


Figura 11: Correlació entre les diferents càrregues IT i la potència del servidor que s'utilitza [5].

$$\text{HPC} \quad \text{Potència (\%)} = 12,27 \cdot \log(\text{Load}) + 80,30 \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\text{Data} \quad \text{Potència (\%)} = 34,39 + 115,54 \cdot \text{Load} - 141,95 \cdot \text{Load}^2 + 58,68 \cdot \text{Load}^3 \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\text{WEB} \quad \text{Potència(\%)} = 37,13 + 54,13 \cdot \text{Load} - 29,29 \cdot \text{Load}^2 \quad \text{Eq. (5)}$$

3. Utilització del model

3.1. Càrrega informàtica

En la realitat és difícil que un CPD tingui una càrrega IT “pura” i per tant, en tots els estudis d'aquest treball s'ha suposat que la càrrega dels servidors és distribuïda. Per tal de simular un escenari més pròxim a la realitat s'ha definit la següent combinació de càrregues: HPC (35%), WEB (35%) i DATA (30%).

3.2. Característiques dels fluids de refrigeració

Les característiques tècniques dels servidors són les mateixes per a totes les configuracions. Les característiques tèrmiques de l'aigua i l'aire d'entrada de refrigeració també són iguals per a tots els casos.

Consum de potència informàtica (P IT):

Cada servidor està format per dos nuclis els quals consumeixen 0,2645 kW cadascun [5]. Per tant la potència total de cada servidors serà de 0,529 kW. Ara bé com s'ha dit anteriorment segons les càrregues informàtiques mai estarem utilitzant el 100% d'aquesta potència.

Rendiment:

Es considera que entre les canonades de refrigeració, per on passa el refrigerant (aigua), i l'ambient hi ha un rendiment, és a dir una eficiència d'intercanvi de calor entre el refrigerant i el servidor. Aquesta eficiència es calcula mitjançant una correlació en funció del gradient tèrmic i el cabal seguint la expressió de l'equació Eq. (6).

$$\text{Eficiència} = 0,5 \cdot (0,25 \cdot T_{\text{aigua}} + 0,5) \quad \text{Eq. (6)}$$

Per tant la calor absorbida per l'aigua realment es calcularà mitjançant l'equació Eq. (7).

$$\dot{Q}_{\text{aigua}} = \text{Eficiència} \cdot \dot{m}_{\text{aigua}} \cdot C_{\text{aigua}} \cdot (T_{\text{aigua.sortida}} - T_{\text{aigua.entrada}}) \quad \text{Eq. (7)}$$

Característiques del rack³:

Segons les dades facilitades per l'IREC la Taula 4 mostra les característiques del rack. La capacitat calorífica s'ha extret experimentalment.

Volum	1,08 m ³
Capacitat calorífica ⁴ (C_{p_rack})	40 kJ/K

Taula 4: Característiques físiques del rack.

Característiques dels servidors:

Igualment que pel rack els valors de capacitat calorífica i el coeficient de transferència de calor dels servidors s'ha extret experimentalment (Taula 5).

Número de servidors	42/Número de servidors en sèrie
Capacitat calorífica ($C_{p_servidor}$)	10,5·Número de servidors kJ/K
Àrea ($A_{servidor}$)	0,54·Número de servidors m ²
h^5	100/(h·m ² ·K)

Taula 5: Característiques físiques i tèrmiques dels servidors.

Característiques de l'aigua d'entrada:

En la Figura 12 es pot observar com varia la temperatura de l'aigua de sortida segons el cabal i la temperatura d'aigua d'entrada en una configuració en sèrie. Observem que la major temperatura s'aconsegueix quan el cabal és mínim. També es pot veure que a mesura que augmentem la temperatura d'entrada la de sortida augmenta. Ara bé com mostra la Figura 13 el poder de refrigeració disminueix a mesura que el cabal d'entrada també disminueix. I a mesura que augmentem la temperatura d'entrada al servidor el poder de refrigeració també disminueix.

³ Rack: Suport metàl·lic que s'utilitza per allotjar equipament normalment informàtic i de xarxes.

⁴ Capacitat calorífica: Energia necessària que s'ha d'aportar a un cos o sistema per tal d'eleva la seva temperatura un grau.

⁵ Coeficient de transferència de calor per convecció (h)

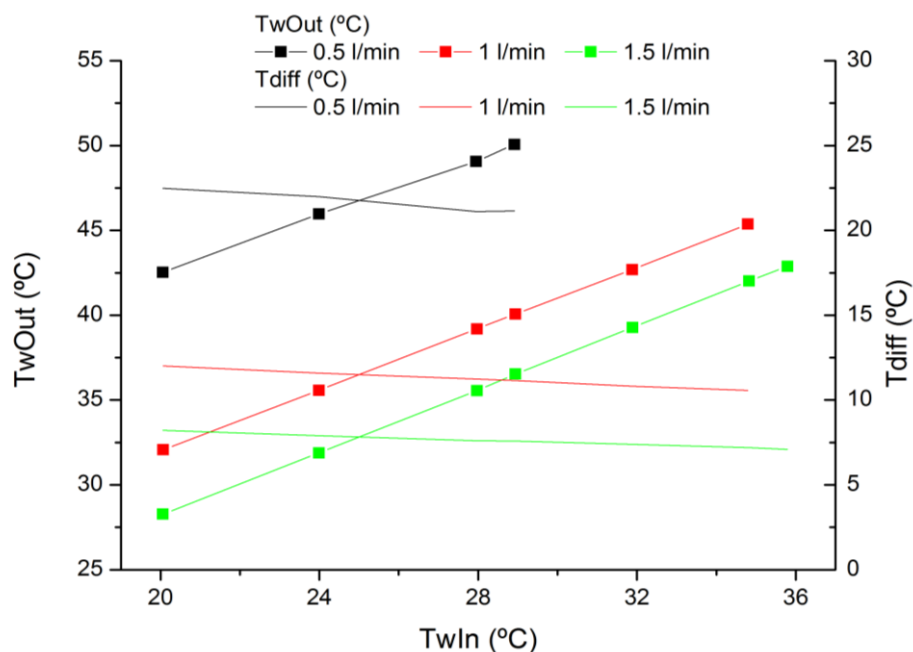


Figura 12: Temperatura de l'aigua de sortida en funció de l'aigua d'entrada i dels cabals de l'aigua de refrigeració [5].

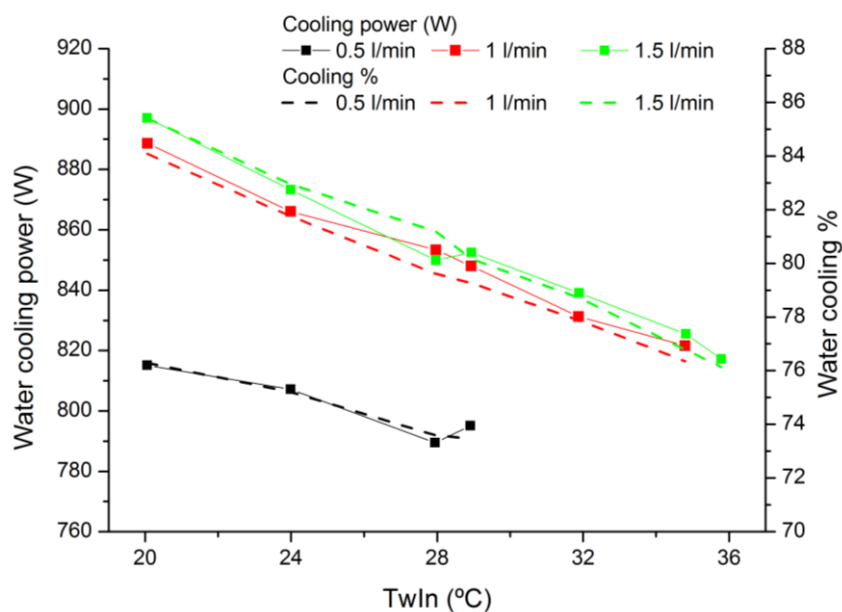


Figura 13: Poder de refrigeració de l'aigua en funció de la temperatura d'entrada i dels cabals de l'aigua de refrigeració [5].

S'ha considerat treballar amb un cabal fix mínim perquè és el que ens proporciona major temperatura a la sortida, sense tenir en compte que perdem poder de refrigeració, la qual cosa ens farà augmentar el consum elèctric per part del servidor. En la Taula 6 observem les característiques físiques i tèrmiques de l'aigua d'entrada amb les quals es treballarà.

Cabal (m_{aigua_IN})	0,5 l/min
Temperatura (T_{aigua_IN})	20 °C
Cabal total (m_{aigua_total})	$m_{aigua_IN} \cdot \text{Número de servidors}$

Taula 6: Característiques físiques i tèrmiques de l'aigua d'entrada.

3.3. Configuracions

S'estudiaran diferents tipus de configuracions pel que fa a les connexions entre els servidors mitjançant les canonades de refrigeració combinant configuracions en sèrie i en paral·lel. Per tal d'obtenir diferents temperatures de l'aigua a les sortides i diferents valors de calor absorbida. Decidint posteriorment quines configuracions són més aptes per utilitzar-les en aplicacions reals. Les configuracions d'estudi seran:

- Tots els servidors en paral·lel.
- Grups de dos servidors en sèrie connectats en paral·lel entre ells.
- Grups de tres servidors en sèrie connectats en paral·lel entre ells.
- Grups de quatre servidors en sèrie connectats en paral·lel entre ells.

3.3.1. Servidors en paral·lel (Escenari 1)

Tots els servidors estan en paral·lel (Figura 14), és a dir, l'aigua d'entrada té les mateixes característiques per tots els servidors. I suposant que la càrrega informàtica és similar per tots els servidors és de preveure que les característiques de l'aigua de sortida seran similars.

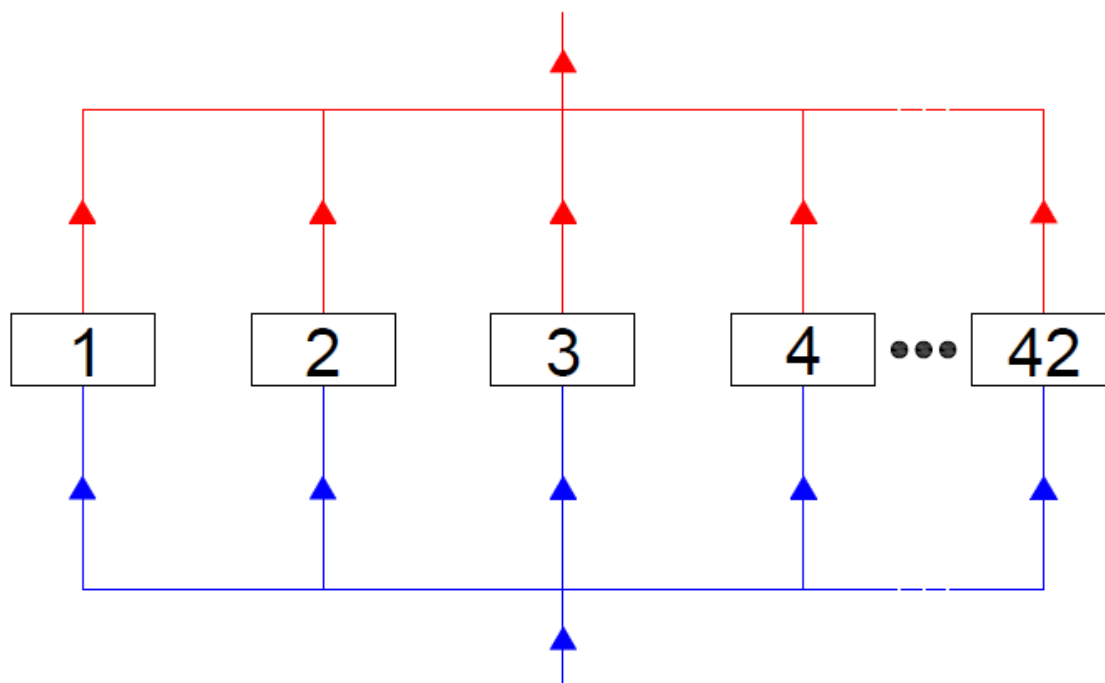


Figura 14: Esquematzació de la configuració dels servidors en paral·lel.

Número de servidors	42
$C_{p_servidor}$	$10,5 \cdot 42 = 441 \text{ kJ/K}$
$A_{servidor}$	$0,54 \cdot 42 = 22,68 \text{ m}^2$
h	$100 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K})$

Taula 7: Característiques dels servidors per configuració en paral·lel.

Cabal ($m_{\text{aigua_IN}}$)	0,5 l/min
Temperatura ($T_{\text{aigua_IN}}$)	20 °C
Cabal total ($m_{\text{aigua_total}}$)	$m_{\text{aigua_IN}} \cdot 42 = 21 \text{ l/min} \approx 1260 \text{ kg/h}$

Taula 8: Característiques de l'aigua d'entrada per configuració en paral·lel.

Una vegada caracteritzat tot el sistema es poden obtenir les característiques tèrmiques de l'aigua de sortida.

En la Figura 15 s'observa la temperatura de sortida de l'aigua de refrigeració segons una configuració en paral·lel i la temperatura de l'aigua d'entrada. S'ha considerat una setmana de funcionament. En la Figura 15 s'hi representa l'augment de temperatura que experimenta l'aigua una vegada ha refrigerat el servidor. On es pot veure que l'increment de temperatura és considerable passant de 20°C a aproximadament 27°C.

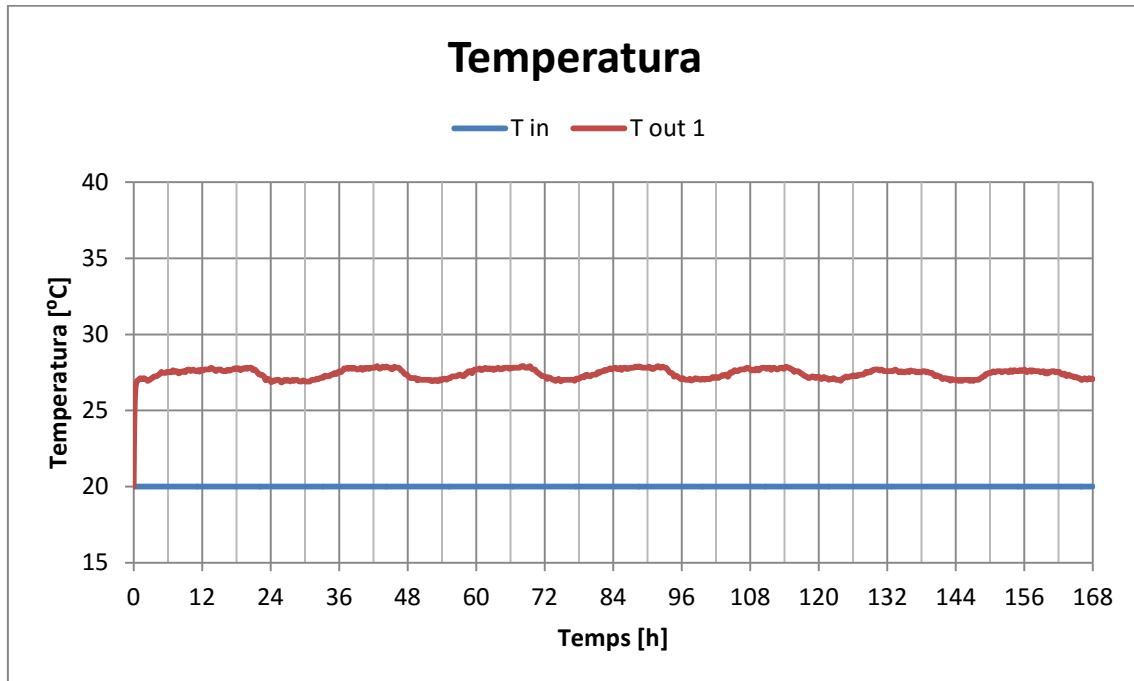


Figura 15: Característiques de temperatura de l'aigua de sortida durant un interval determinat de temps (una setmana).

Com es pot veure en la Figura 16 s'ha representat la càrrega IT dels servidors en funció del temps i la calor absorbida per l'aigua (Q líquid) en una configuració on tots els servidors estan en paral·lel. També s'observa el % de refrigeració dut a terme per l'aigua. Els resultats són per una setmana de funcionament.

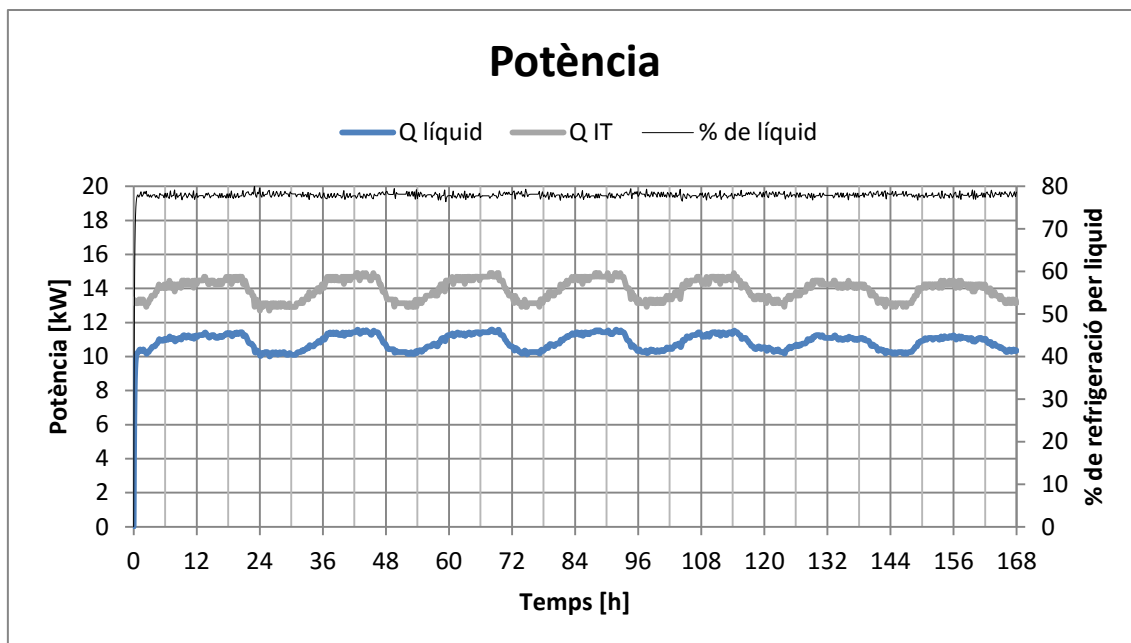


Figura 16: Característiques de la potència consumida pels servidors (Q_{IT}) i la calor que absorbeix el líquid ($Q_{\text{líquid}}$) per tant la que pot ser reaprofitada. També s'hi pot observar el percentatge de calor que refrigera el líquid. La calor restant ($Q_{\text{IT}} - Q_{\text{líquid}}$) és la part refrigerada per aire.

En la següent figura (Figura 17) està representada l'energia que s'extreu per part de l'aigua ($Q_{\text{líquid}}$ [kWh]) durant el transcurs d'una setmana i l'energia que consumeix el servidor durant el mateix període de temps.

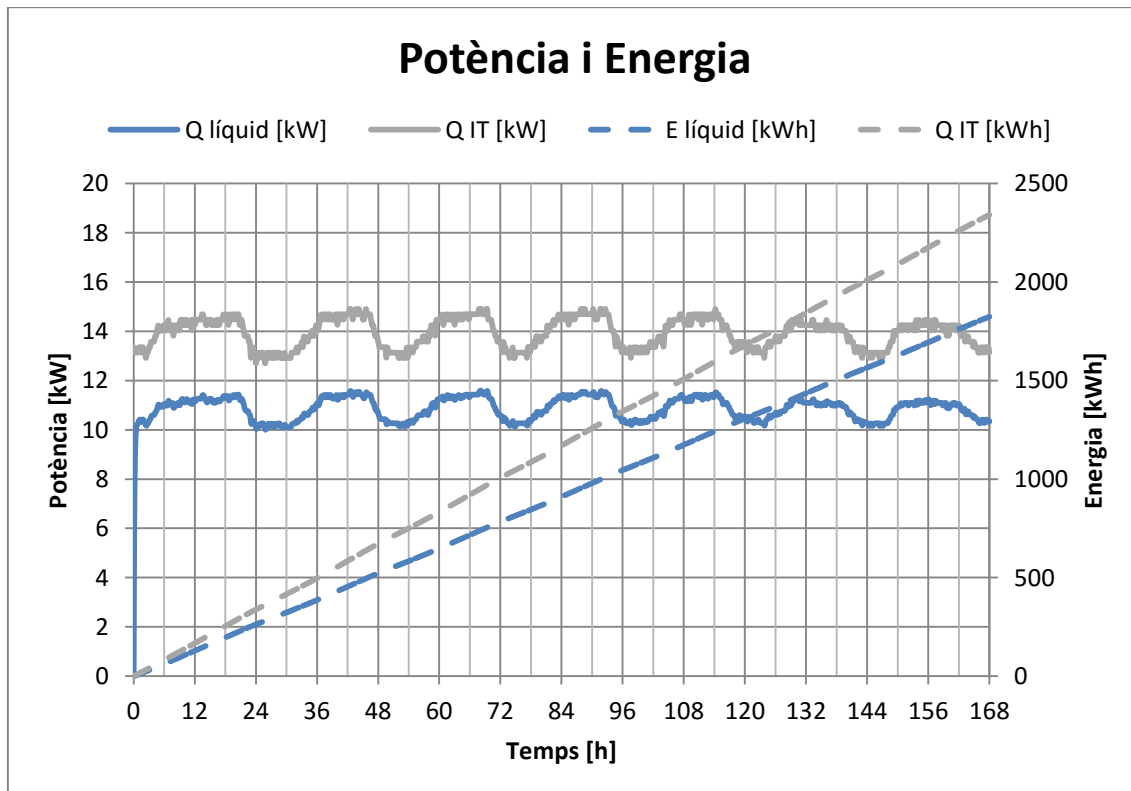


Figura 17: Comparativa entre l'energia que consumeix els servidors, en un període determinat de temps, amb l'energia que absorbeix el líquid refrigerant i pot ser reaprofitada.

3.3.2. 2 Servidors en sèrie (Escenari 2)

En aquesta configuració tenim grups de dos servidors en sèrie els quals estan tots ells en paral·lel (Figura 18). És a dir, el cabal total d'aigua es divideix en diferents branques, on a cadascuna d'elles hi ha dos servidors en sèrie, per tant l'aigua d'entrada per a cada servidor tindrà les mateixes característiques. Però l'aigua de sortida una vegada passat els primers servidors serà l'entrada dels segons servidors.

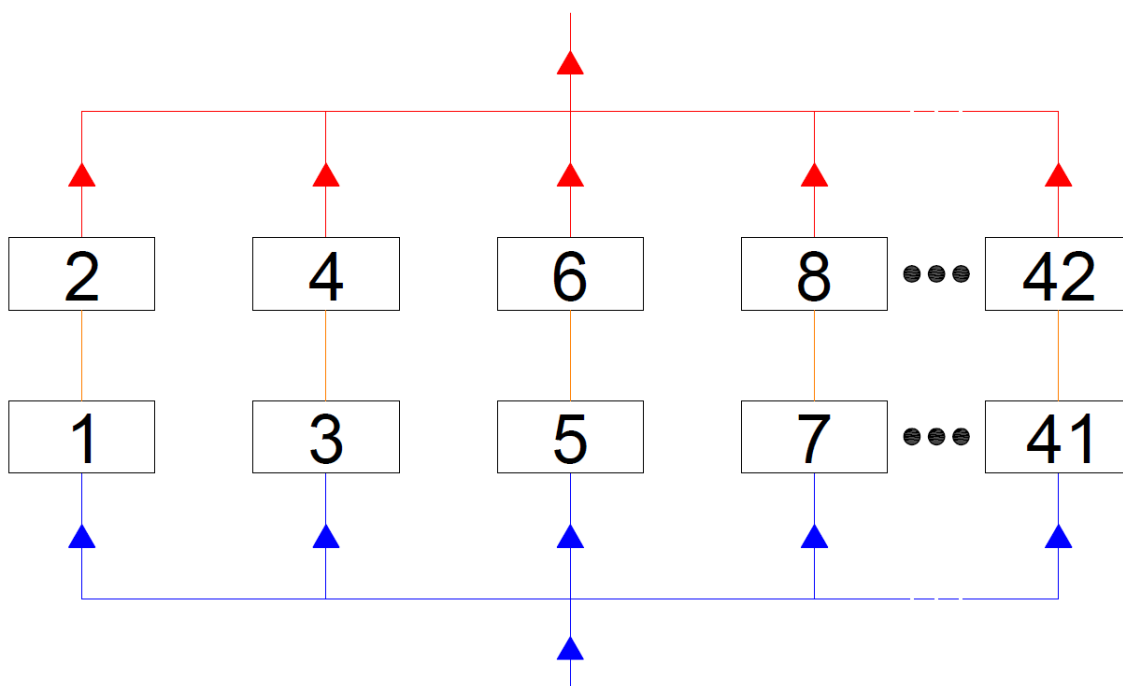


Figura 18: Esquematització de la configuració de dos servidors en sèrie.

Número de servidors	$42/2=21$
$C_{p_servidor}$	$10,5 \cdot 21 = 220,5 \text{ kJ/K}$
$A_{servidor}$	$0,54 \cdot 21 = 11,34 \text{ m}^2$
h	$100 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K})$

Taula 9: Característiques dels servidors per configuració en sèrie de dos servidors.

Cabal ($m_{\text{aigua_IN}}$)	$0,5 \text{ l/min}$
Temperatura ($T_{\text{aigua_IN}}$)	$20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Cabal total ($m_{\text{aigua_total}}$)	$m_{\text{aigua_IN}} \cdot 21 = 10,5 \text{ l/min} \approx 630 \text{ kg/h}$

Taula 10: Característiques de l'aigua d'entrada per configuració en sèrie de dos servidors.

Una vegada caracteritzat tot el sistema es poden obtenir les característiques tèrmiques de l'aigua de sortida per la configuració de dos servidors en sèrie. Les figures que es mostren a continuació conceptualment són les mateixes que les explicades en l'anterior apartat 3.3 però en la configuració corresponent. Observant que a nivell de temperatures tenim diferents temperatures ja que estem en una configuració en sèrie i la sortida d'un servidor és l'entrada de l'altre.

En la Figura 19 hi ha representats els canvis de temperatura que experimenta l'aigua al passar primer per un servidor ($T_{\text{out 1}}$) i la temperatura final de l'aigua al passar pel segon servidor ($T_{\text{out 2}}$). Com era d'esperar la temperatura final de l'aigua ($T_{\text{out 2}}$) és superior a la configuració

anterior. Però l'increment de temperatura entre T out 1 i T out 2 observem que disminueix respecte el primer interval.

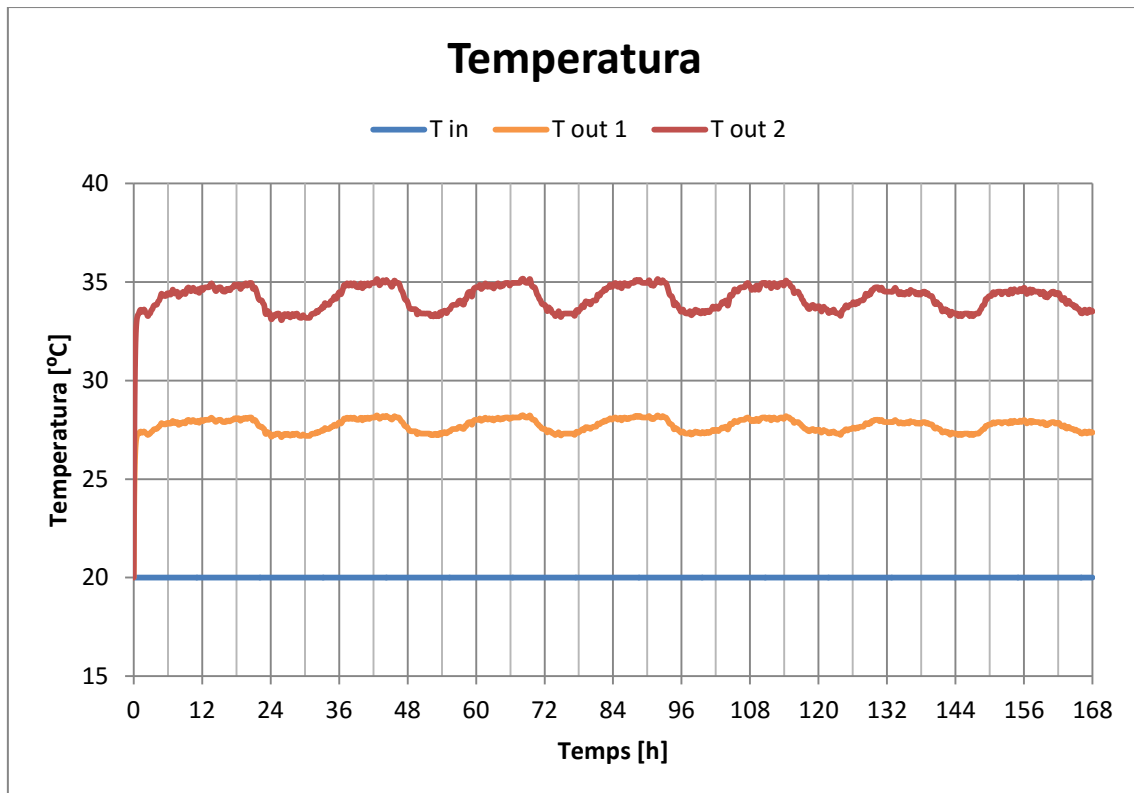


Figura 19: Característiques de temperatura de l'aigua de sortida durant un interval determinat de temps (una setmana).

En la Figura 20 es representa quina calor és absorbida per l'aigua ($Q_{líquid}$) respecte tota la calor que genera el CPD (Q_{IT}). Es pot observar que és lleugerament inferior a l'anterior configuració, ja que a l'augmentar la temperatura d'entrada al segon servidor (T out 2) disminuïm el poder de refrigeració de l'aigua. En la Figura 21 es representa l'energia que consumeix el CPD durant una setmana i l'energia que absorbeix l'aigua durant el mateix període. On podem veure que l'energia absorbida és més baixa que en la configuració anterior.

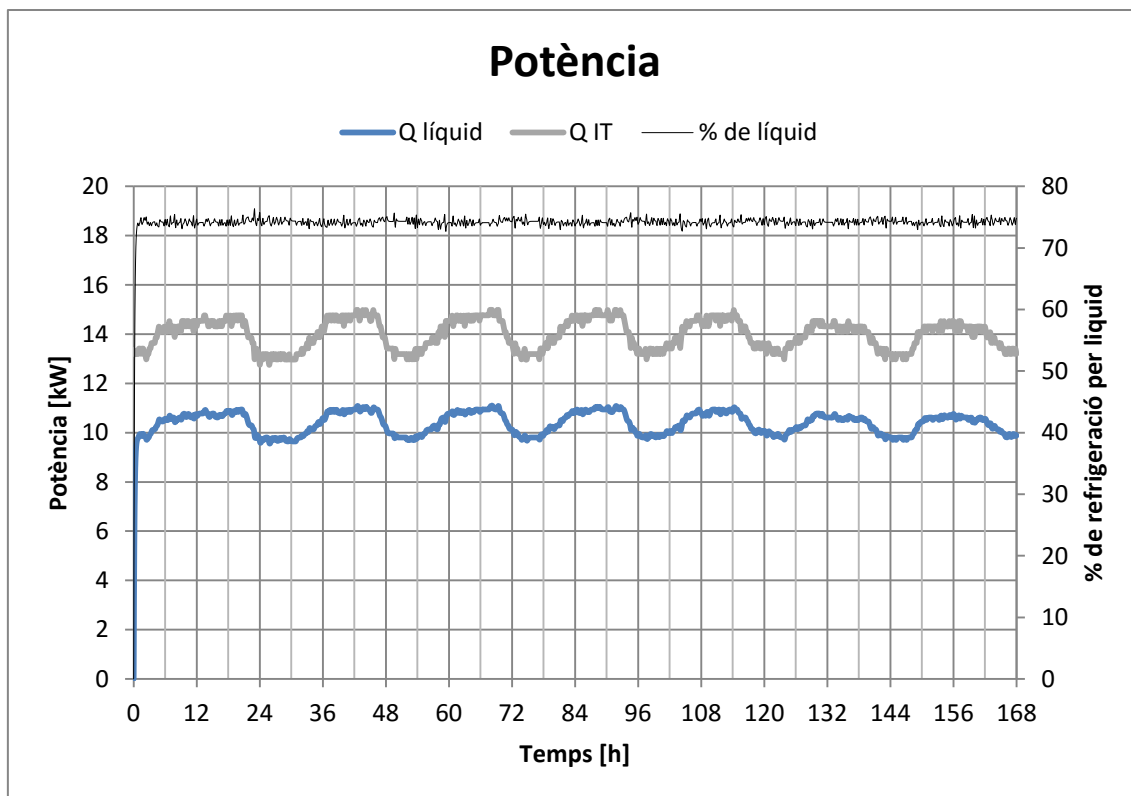


Figura 20: Característiques de la potència consumida pels servidors (Q_{IT}) i la calor que absorbeix el líquid ($Q_{\text{líquid}}$) per tant la que pot ser reaprofitada. També es pot observar el percentatge de calor que refrigera el líquid. La calor restant ($Q_{\text{IT}} - Q_{\text{líquid}}$) és la part refrigerada per aire.

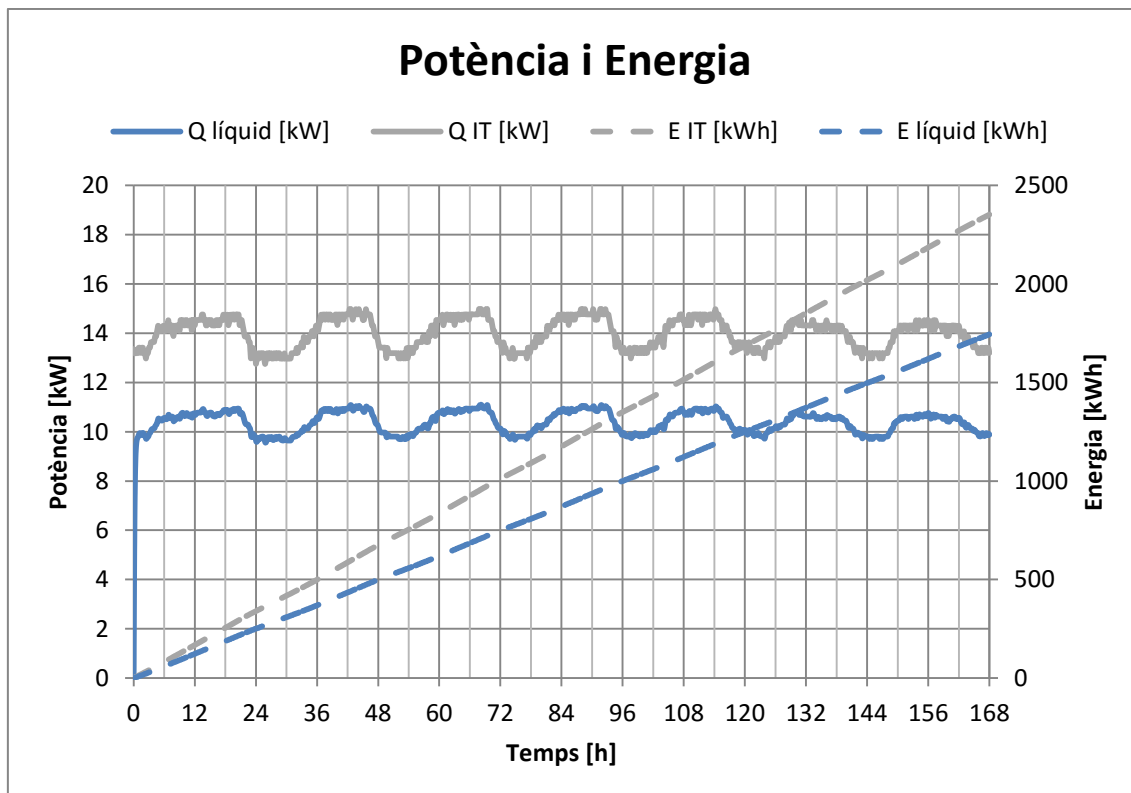


Figura 21: Comparativa entre l'energia que consumeix els servidors, en un període determinat de temps, amb l'energia que absorbeix el líquid refrigerant i pot ser reaprofitada.

3.3.3. 3 Servidors en sèrie (Escenari 3)

Aquesta configuració és molt similar a l'anterior diferenciant-se en tenir grups de tres servidors en sèrie enlloc de dos (Figura 22). Per tant l'aigua de sortida del segon servidors és la d'entrada del tercer. Per tant es pot intuir que la temperatura final de sortida serà encara més elevada.

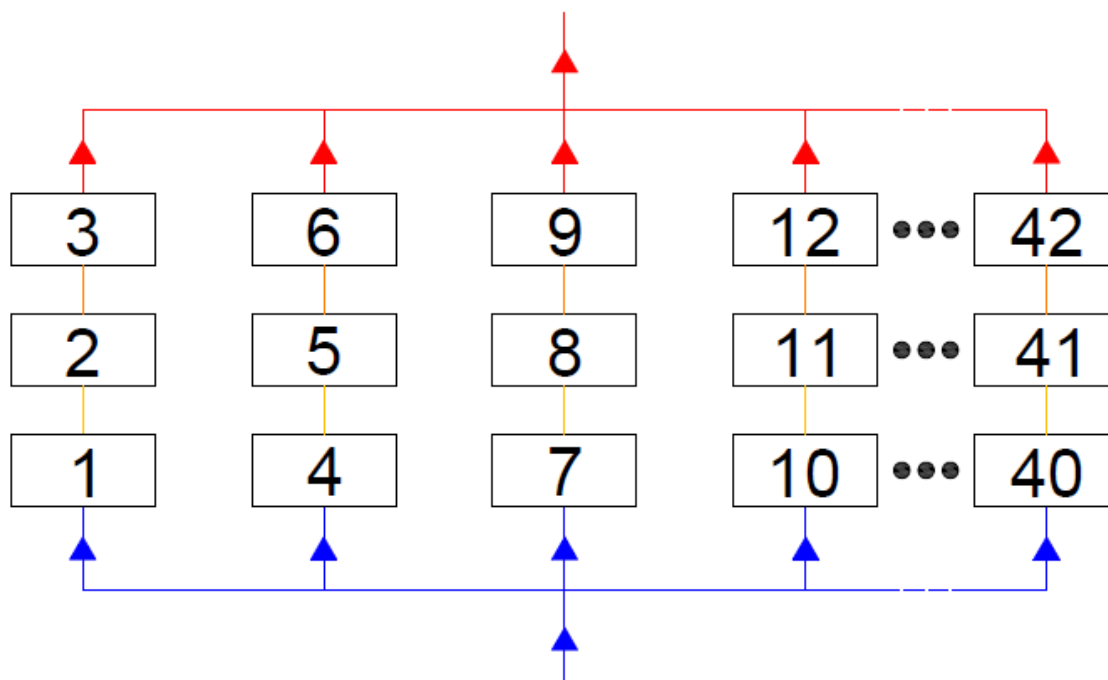


Figura 22: Esquematització de la configuració de tres servidors en sèrie.

Número de servidors	$42/3=14$
$C_{p_servidor}$	$10,5 \cdot 14 = 147 \text{ kJ/K}$
$A_{servidor}$	$0,54 \cdot 14 = 7,56 \text{ m}^2$
h	$100 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K})$

Taula 11: Característiques dels servidors per configuració en sèrie de tres servidors.

Cabal ($m_{\text{aigua_IN}}$)	0,5 l/min
Temperatura ($T_{\text{aigua_IN}}$)	20 °C
Cabal total ($m_{\text{aigua_total}}$)	$m_{\text{aigua_IN}} \cdot 14 = 7 \text{ l/min} \approx 420 \text{ kg/h}$

Taula 12: Característiques de l'aigua d'entrada per configuració en sèrie de tres servidors.

Com s'ha procedit anteriorment una vegada definides totes les característiques físiques i tèrmiques es poden obtenir les temperatures de sortida i la calor absorbida pel refrigerant. Les figures que hi ha a continuació representen el mateix que les explicada anteriorment en el punt 3.3.2 però en la configuració pertinent. En la Figura 23 es representa els canvis de temperatura que experimenta l'aigua al passar pels 3 servidors. On $T_{\text{out 1}}$ és la temperatura de l'aigua al refrigerar el primer servidor, $T_{\text{out 2}}$ és la temperatura de l'aigua de sortida al refrigerar el segon servidor en sèrie, i finalment $T_{\text{out 3}}$ és la temperatura final que assoleix l'aigua al refrigerar el tercer i últim servidor. Podem observar que l'increment de temperatura va disminuint a mesura que va passant pels servidors. S'observa que és una tendència en totes les configuracions, a mesura que augmentem la temperatura d'entrada a un servidor l'increment de temperatura a la sortida va disminuint.

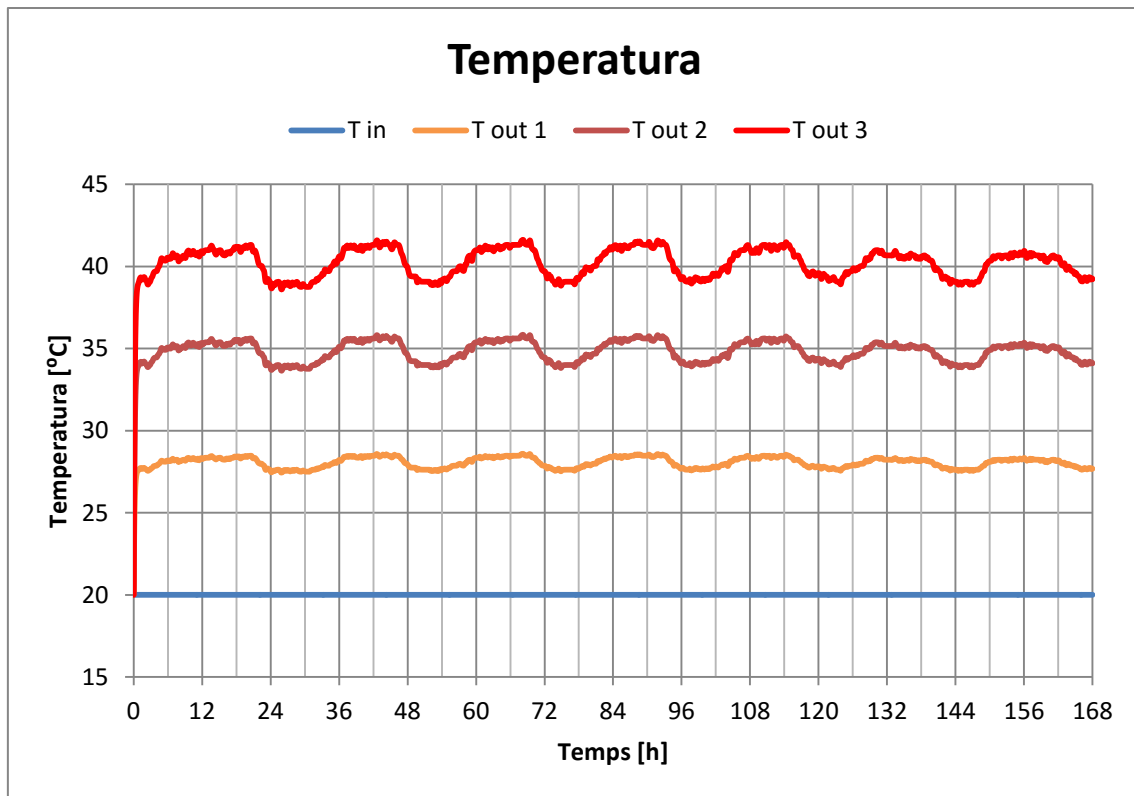


Figura 23: Característiques de temperatura de l'aigua de sortida durant un interval determinat de temps (una setmana).

En la Figura 24 es representa la calor generada pel CPD (Q_{IT}) i la calor absorbida per l'aigua ($Q_{líquid}$). Tal com s'ha comentat anteriorment observem que a l'augmentar la temperatura d'entrada a alguns servidors el poder de refrigeració disminueix, per tant podem observar que la calor absorbida per l'aigua és lleugerament inferior als altres casos. En la Figura 25 es representa l'energia que genera el CPD en forma de calor durant una setmana i l'energia que absorbeix l'aigua durant el mateix període. Com és d'esperar al disminuir la calor absorbida per l'aigua també disminueix l'energia durant el període d'una setmana en comparació a configuracions anteriors.

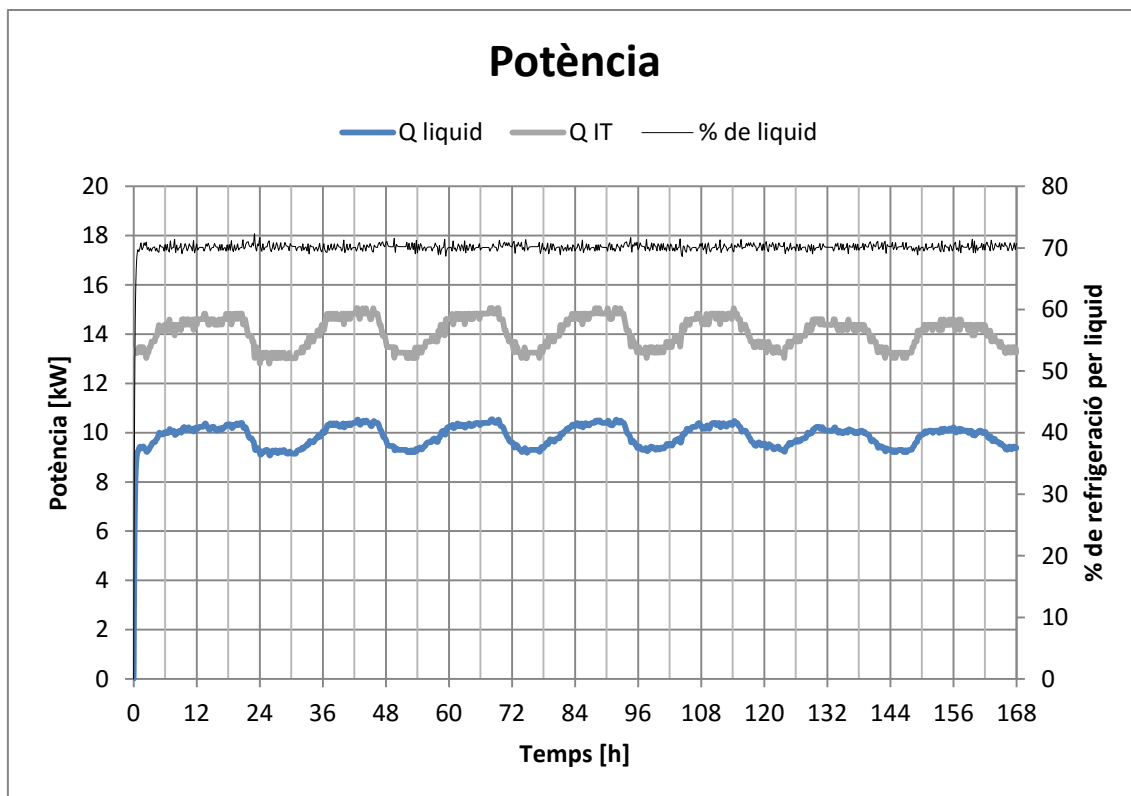


Figura 24: Característiques de la potència consumida pels servidors (Q_{IT}) i la calor que absorbeix el líquid ($Q_{\text{líquid}}$) per tant la que pot ser reaprofitada. També es pot observar el percentatge de calor que refrigera el líquid. La calor restant ($Q_{\text{IT}} - Q_{\text{líquid}}$) és la part refrigerada per aire.

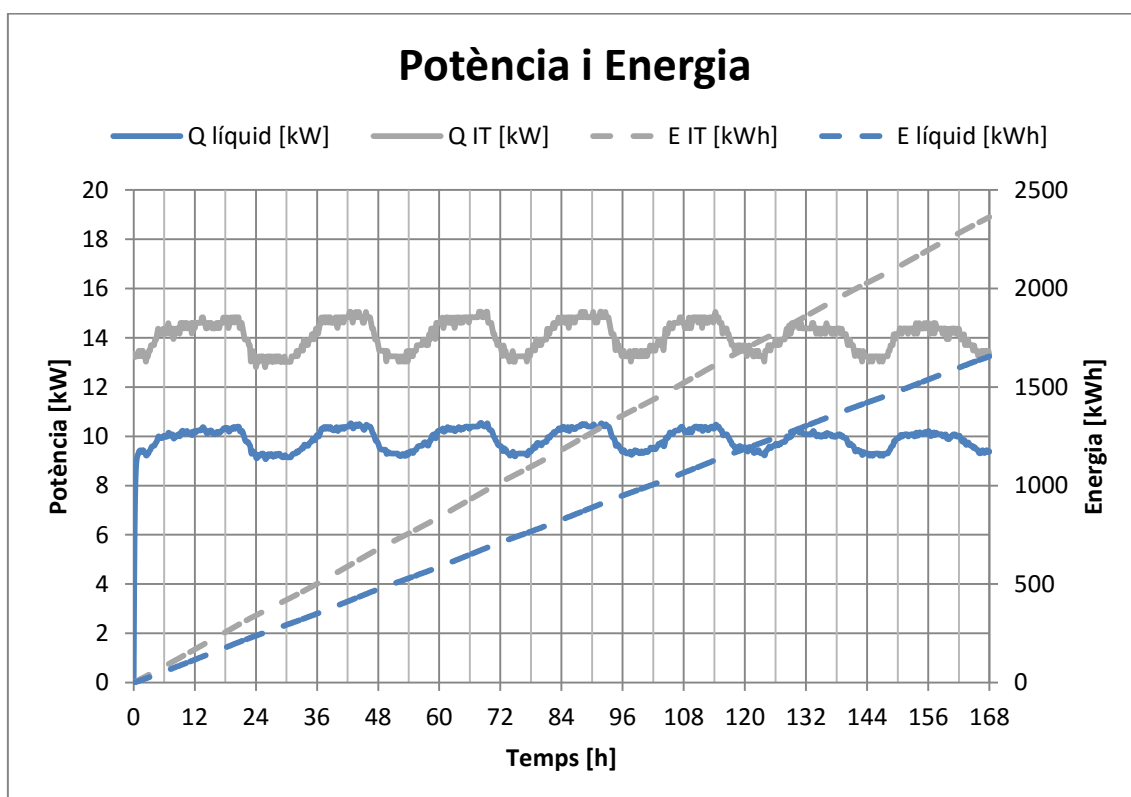


Figura 25: Comparativa entre l'energia que consumeix els servidors, en un període determinat de temps, amb l'energia que absorbeix el líquid refrigerant i pot ser reaprofitada.

3.3.4. 4 servidors en sèrie (escenari 4)

Configuració similar a les dues anteriors, fent grups de quatre servidors en sèrie. Per tant encara augmentarem més la temperatura final de sortida (Figura 26). I segons la observació de les anteriors configuracions es d'esperar una disminució de la quantitat que es refrigerarà per líquid i un augment del consum energètic per part dels servidors. S'ha modificat el nº de servidors per fer-ho més homogeni ja que si utilitzàvem 42 servidors ens quedaven 2 servidors aïllat ens sèrie.

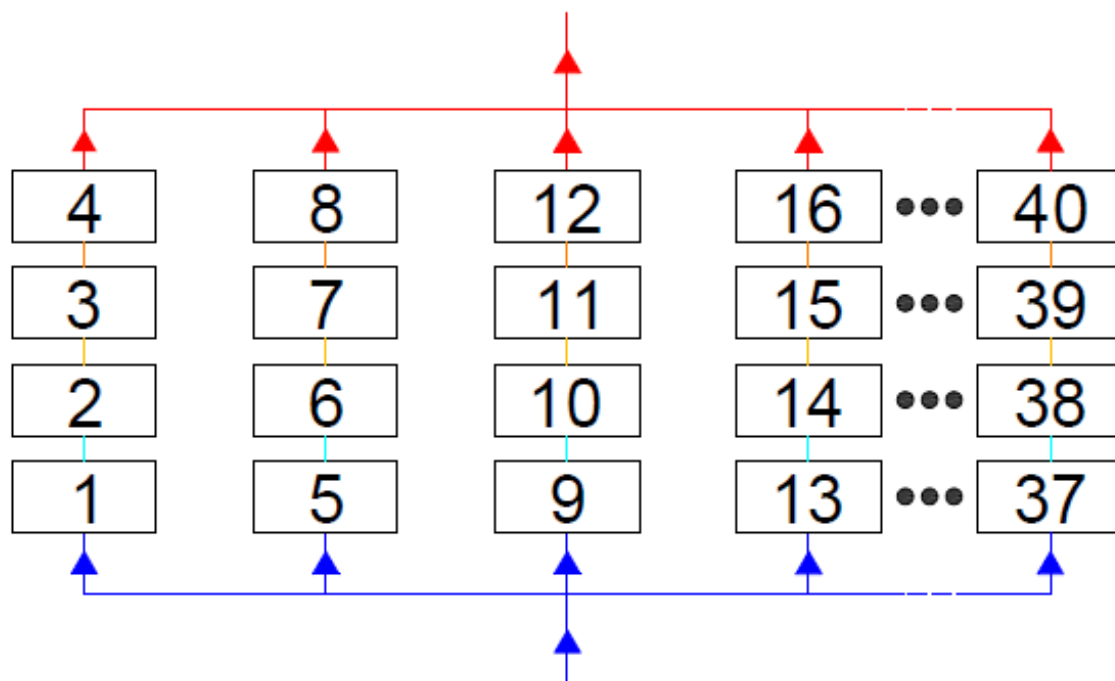


Figura 26: Esquematzació de la configuració de quatre servidors en sèrie.

Número de servidors	$40/4=10$
$C_{p_servidor}$	$10,5 \cdot 10 = 105 \text{ kJ/K}$
$A_{servidor}$	$0,54 \cdot 10 = 5,4 \text{ m}^2$
h	$100 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K})$

Taula 13: Característiques dels servidors per configuració en sèrie de quatre servidors.

Cabal ($m_{\text{aigua_IN}}$)	0,5 l/min
Temperatura ($T_{\text{aigua_IN}}$)	20 °C
Cabal total ($m_{\text{aigua_total}}$)	$m_{\text{aigua_IN}} \cdot 10 = 5 \text{ l/min} \approx 300 \text{ kg/h}$

Taula 14: Característiques de l'aigua d'entrada per configuració en sèrie de quatre servidors.

A partir de la caracterització dels servidors i de l'aigua d'entrada es pot obtenir les característiques tèrmiques de l'aigua de sortida. Les figures a continuació conceptualment són les mateixes que les explicades anteriorment. En la Figura 27 es representen les diferents temperatures que assolix l'aigua en aquesta configuració. Al passar pel primer servidor (T out 1), pel segon (T out 2), pel tercer (T out 3) i finalment pel quart (T out 4). On s'observa com s'ha puntualitzat en altres configuracions que l'increment de temperatura entre entrada i sortida d'un servidor va disminuint a mesura que augmenta la temperatura d'entrada. En la Figura 28 es representa la calor generada pel CPD (Q IT) i la calor absorbida per l'aigua (Q líquid) que com s'ha explicat anteriorment al perdre poder de refrigeració de l'aigua a mesura

que augmenta la seva temperatura la calor absorbida per l'aigua hauria de ser menor que en configuracions anteriors, ara bé al tenir menys servidors no és veu representat numèricament. En la Figura 29 es representen l'energia generada pel CPD i l'energia absorbida per l'aigua, que segueix la mateixa tendència que en les configuracions anteriors. Ara bé al tindre menys servidors numèricament no es veu representat.

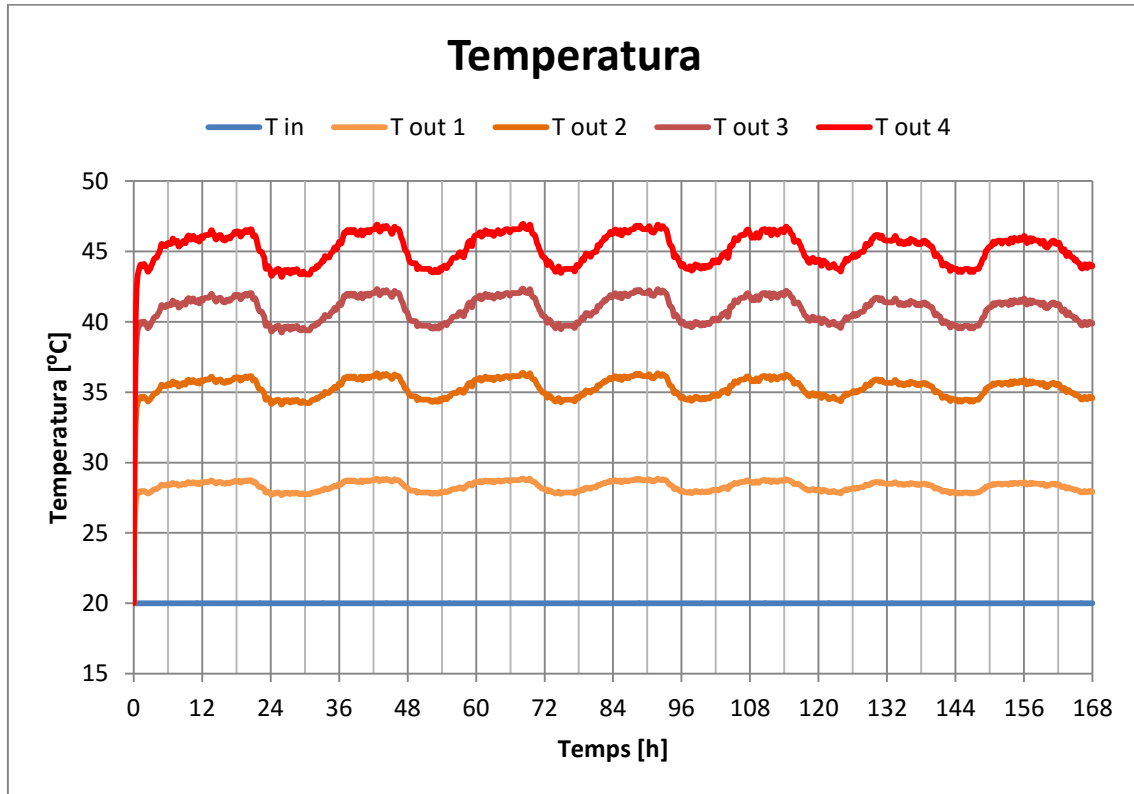


Figura 27: Característiques de temperatura de l'aigua de sortida durant un interval determinat de temps (una setmana).

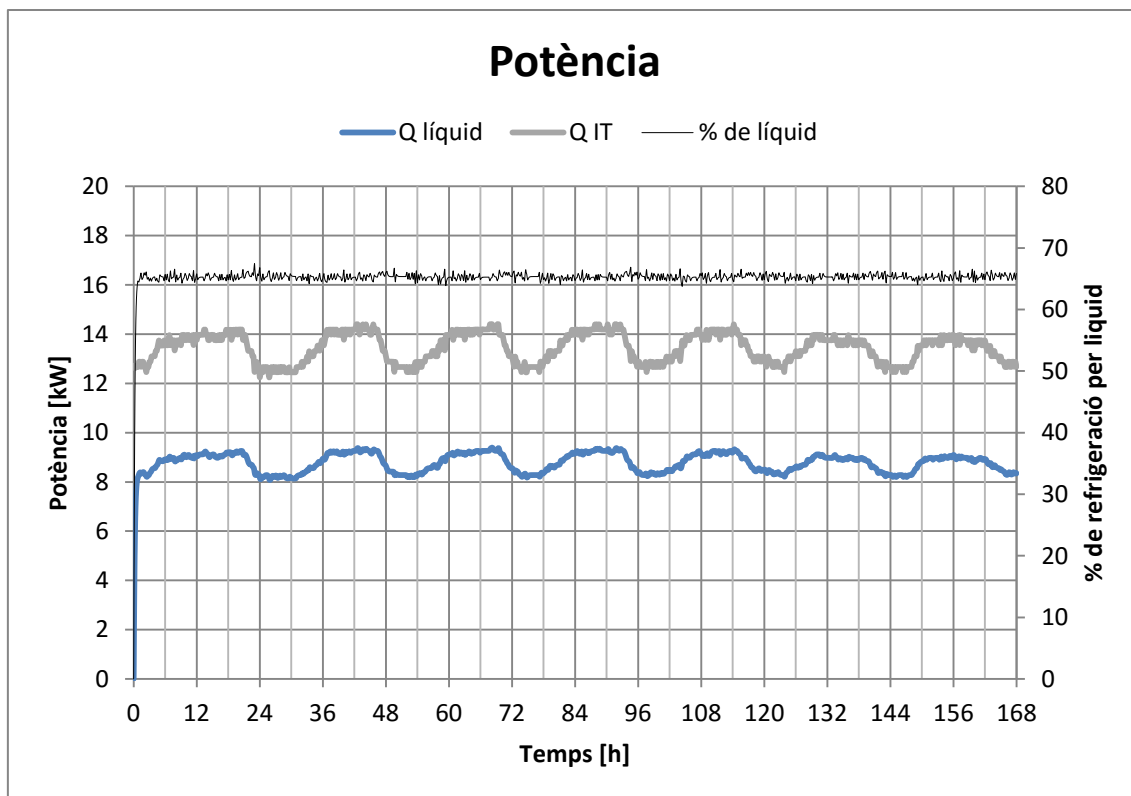


Figura 28: Característiques de la potència consumida pels servidors (Q_{IT}) i la calor que absorbeix el líquid ($Q_{\text{líquid}}$) per tant la que pot ser reaprofitada. També s'hi pot observar el percentatge de calor que refrigera el líquid. La calor restant ($Q_{\text{IT}} - Q_{\text{líquid}}$) és la part refrigerada per aire.

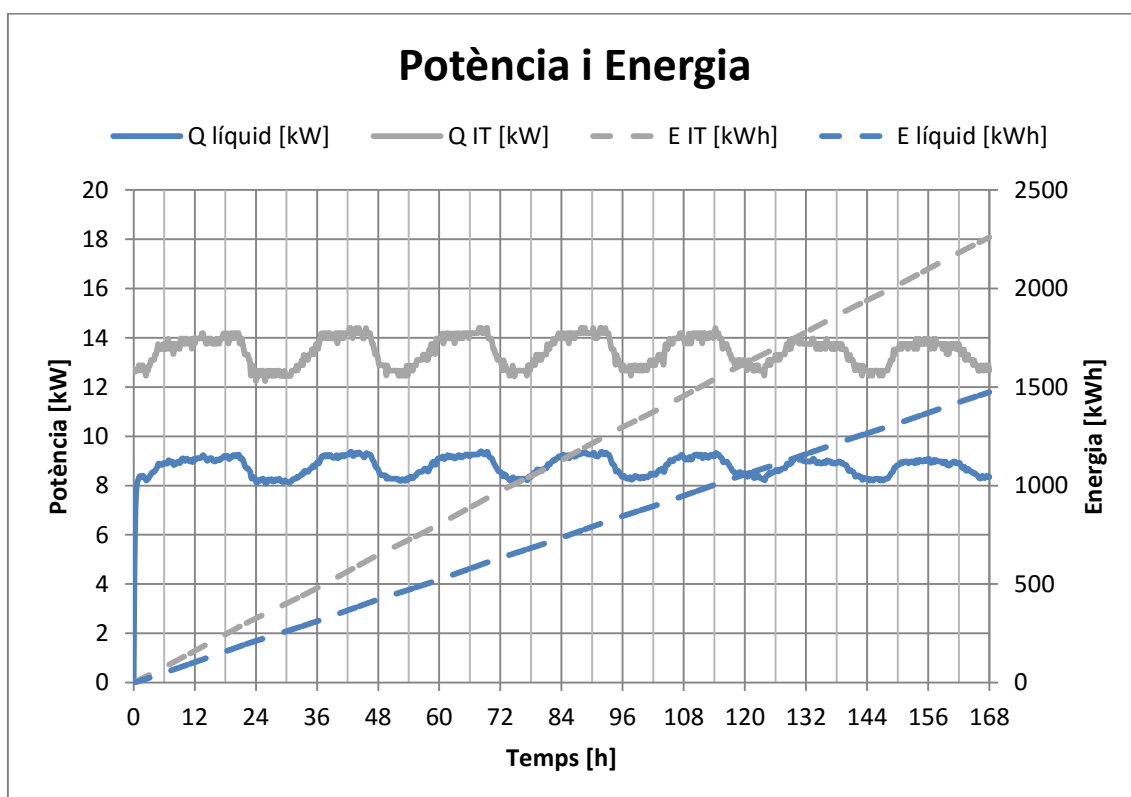


Figura 29: Comparativa entre l'energia que consumeix els servidors, en un període determinat de temps, amb l'energia que absorbeix el líquid refrigerant i pot ser reaprofitada.

3.3.5. Comparació de resultats

Com s'ha pogut observar en els apartats anteriors i en la Taula 15 la temperatura de sortida (T [°C]) augmenta a mesura que augmentem els servidors en sèrie. Ara bé l'absorció de calor per part de l'aigua (Q líquid [kW]) es veu disminuïda per tant el poder de refrigeració. Observem que en tots els escenaris analitzats el calor que genera el CPD (Q IT [kW]) és manté relativament constant, a excepció de l'escenari 4 ja que disminueix el número de servidors. Evidentment el percentatge de refrigeració d'aigua (% Líquid) va disminuint a mesura que augmentem el número de servidors en sèrie com a conseqüència que va disminuint el poder de refrigeració de l'aigua. Conseqüentment l'energia que absorbeix l'aigua en el transcurs d'una setmana (E Líquid [kWh]) també es veu disminuïda a mesura que augmentem el número de servidors en sèrie.

	T [°C]		Q IT [kW]		Q Líquid [kW]		% Líquid		E IT [kWh]	E Líquid [kWh]
	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	Total*	Total*
Esc. 1	27,92	26,84	14,91	12,70	11,59	10,00	80,14	76,39	2341,49	1823,90
Esc. 2	35,17	33,06	14,99	12,75	11,10	9,56	76,36	72,68	2352,33	1744,05
Esc. 3	41,63	38,60	15,06	12,80	10,55	9,07	72,30	68,61	2362,90	1655,62
Esc. 4	46,97	43,19	14,41	12,24	9,39	8,08	67,45	63,76	2259,77	1473,94

Taula 15: Taula resum on s'indica els màxims i mínims de cada escenari. * Es refereix a l'energia consumida (E IT) i l'energia absorbida (E Líquid) en el període d'una setmana.

En la Figura 30 observem les temperatures de sortida dels diferents escenaris, i podem concloure que a mesura que augmentem servidors en sèrie la temperatura de sortida augmenta. Ara bé, a mesura que augmentem el nº de servidors el gradient de temperatura entre els diferents escenaris va disminuint.

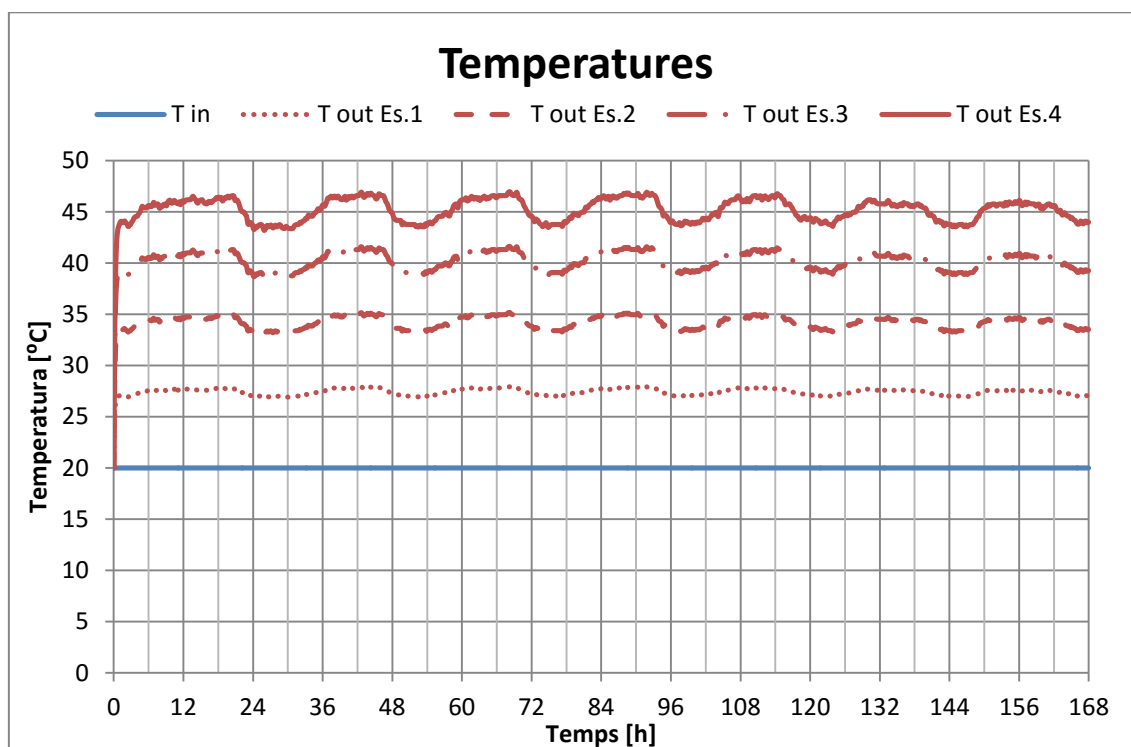


Figura 30: Comparació de les temperatures de l'aigua en els quatre escenaris estudiats.

En la Figura 31 veiem representades les potències IT i el que ens absorbeix l'aigua. Observem que la càrrega IT (Q_{IT}) es idèntica en els tres primers escenaris, però inferior en el quart ja que hem suprimit 2 servidors i treballem únicament amb 40. A nivell de calor absorbida per l'aigua observem que a mesura que augmentem els servidors en sèrie aquesta disminueix, ja que el poder de refrigeració disminueix a l'augmentar la temperatura de l'aigua d'entrada als servidors.

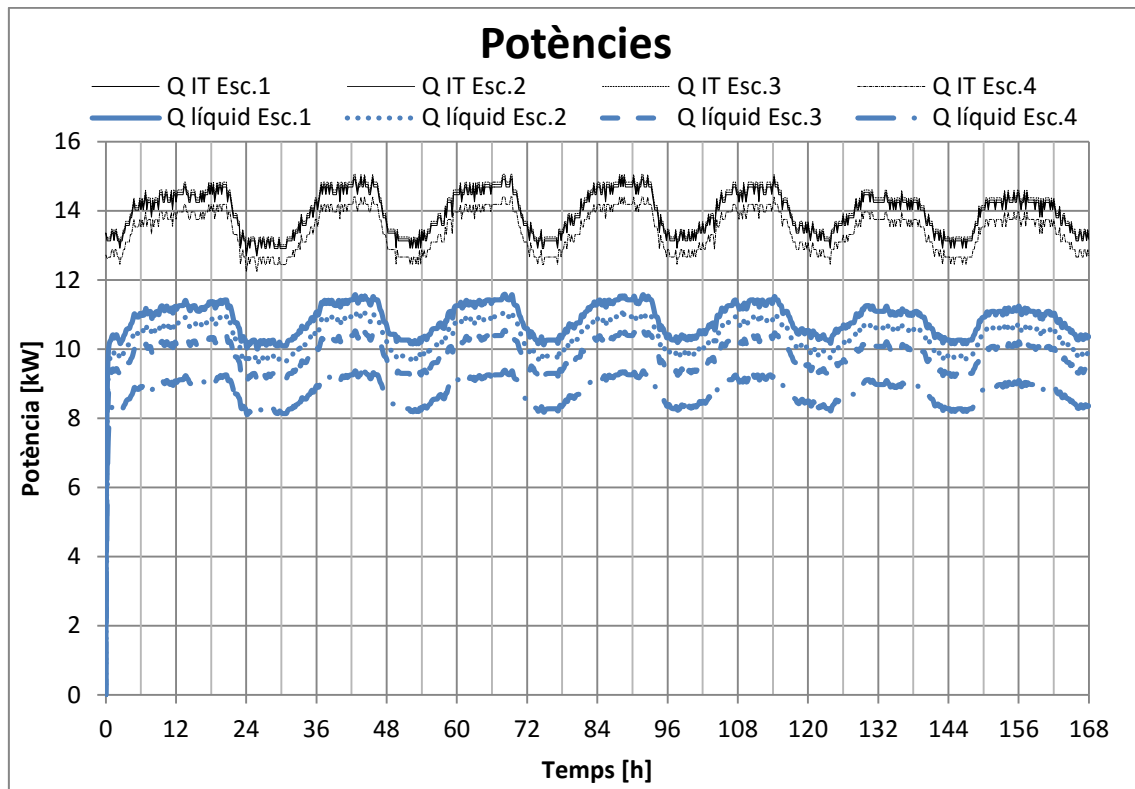


Figura 31: Comparació de potències dels quatre escenaris estudiats.

En la Figura 32 observem el que ens consumeix el CPD durant una setmana, s'observa que en tots els escenaris és molt similar veient un petit augment a mesura que augmentem els servidors en sèrie, exceptuant l'escenari 4. On l'energia consumida és menor quan hauria de ser lleugerament superior degut a que no tenim tant poder de refrigeració en aquest escenari. Això es degut a que tenim menys servidors funcionant (40) tal com s'ha explicat en el punt 3.3.4.

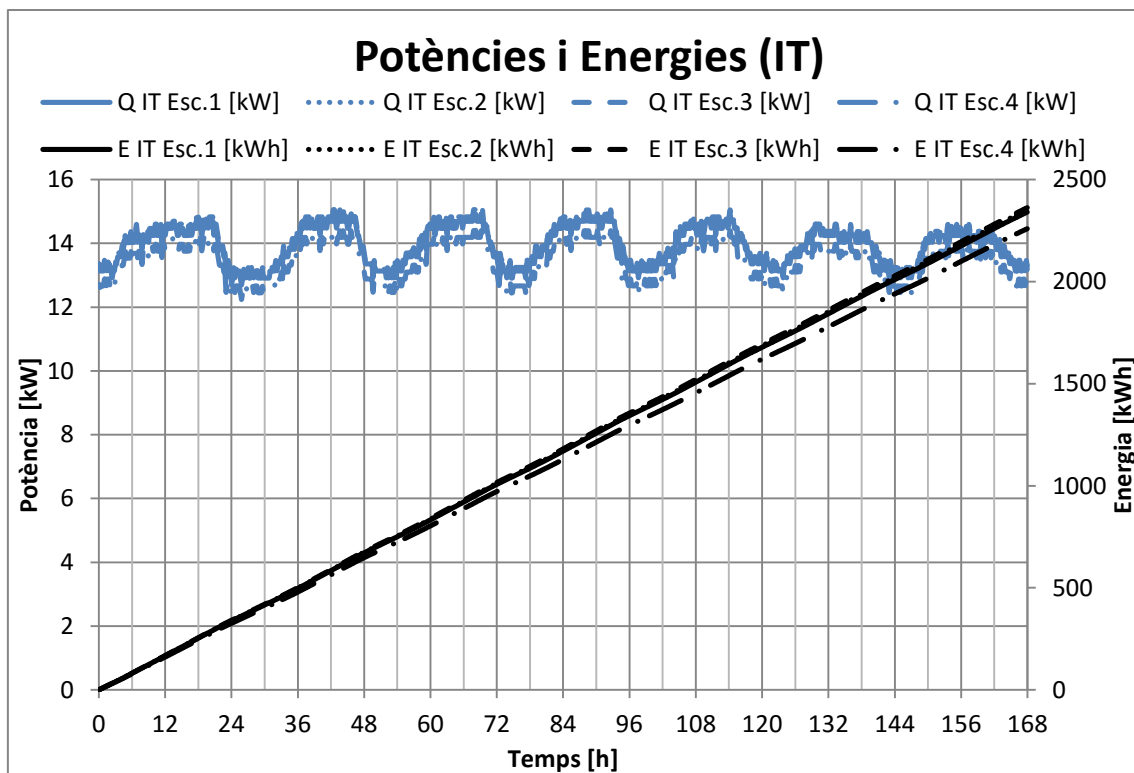


Figura 32: Comparació de les potències i energies consumides per part dels servidors.

En la Figura 33 hi ha representada l'energia que absorbeix l'aigua en el transcurs d'una setmana, per tant com en el cas de la calor absorbida si aquesta disminueix a mesura que augmentem el nº de servidors en sèrie també ho farà l'energia.

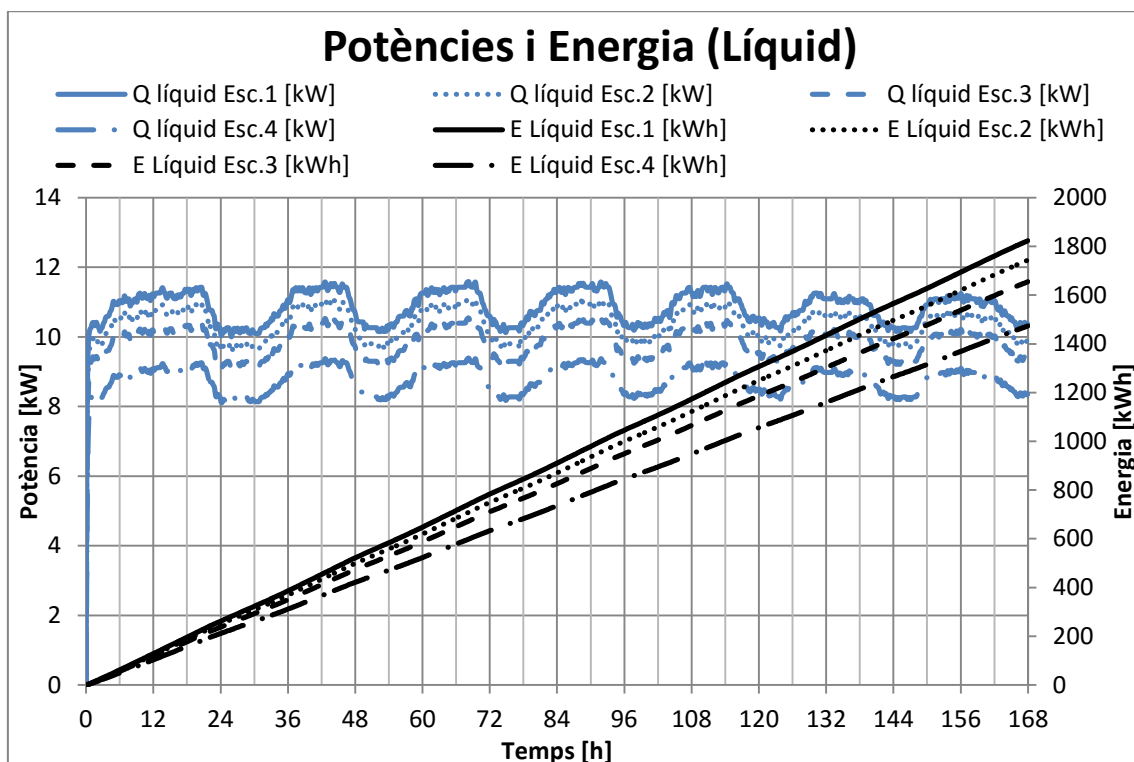


Figura 33: Comparació de la calor i energia absorbida per part del líquid refrigerant (aigua) en els quatre escenaris estudiats.

A partir d'aquestes dades podem extreure la conclusió que a major número de servidors en sèrie la temperatura de sortida augmenta. Ara bé, com més servidors en sèrie el consum per part d'aquests augmenta i el poder del líquid refrigerant per absorbir calor disminueix, per tant el % de refrigeració es veu disminuït. Això és degut a que a mesura que augmenta la temperatura del líquid refrigerant perd capacitat per absorbir més calor, és a dir la diferència entre la temperatura del servidors i del líquid refrigerant és menor. En termes energètics segueix la mateixa tendència, s'augmenta el consum energètic com més servidors en sèrie i disminueix l'energia que pot ser reaprofitada.

Una vegada finalitzat l'anàlisi dels diferents escenaris es pot concloure que aquesta calor generada en el CPD pot ser reaprofitada. A partir d'aquests escenaris s'ha considerat que per aprofitar aquesta calor en aplicacions reals l'escenari que té més versatilitat per tenir una major temperatura de sortida és l'escenari 4 amb 4 servidors en sèrie. Encara que sigui l'escenari on obtenim calor de menys qualitat. Això no treu que en aplicacions puntuals sigui més interessant utilitzar una altra configuració tal com s'explicarà posteriorment.

4. Aplicacions per a la reutilització de la calor.

Per tal de poder aprofitar la calor generada en el CPD s'han considerat diferents aplicacions on es pugui consumir aquesta calor. S'han elegit aplicacions on el consum d'aquesta calor sigui directe com:

- Calefacció urbana.
- Calefacció urbana de baixa temperatura.
- Piscines cobertes.
- Calefacció individual i Aigua Calenta Sanitària (ACS) en habitatges.
- Calefacció individual en edificis d'oficines.
- Calefacció i ACS en un hospital.
- Calefacció i ACS en hotels.

Per tal d'analitzar si es pot donar servei a aquestes aplicacions s'ha fet la recerca de les temperatures de funcionament de cada aplicació i a partir de les dades de consum anual de calor de cada aplicació i de diferents perfils de funcionament diaris i mensuals, d'una zona climàtica determinada de l'estat espanyol per a cada aplicació, s'ha extret un perfil anual de consum de la calor segons cada hora de l'any.

4.1. *Calefacció urbana*

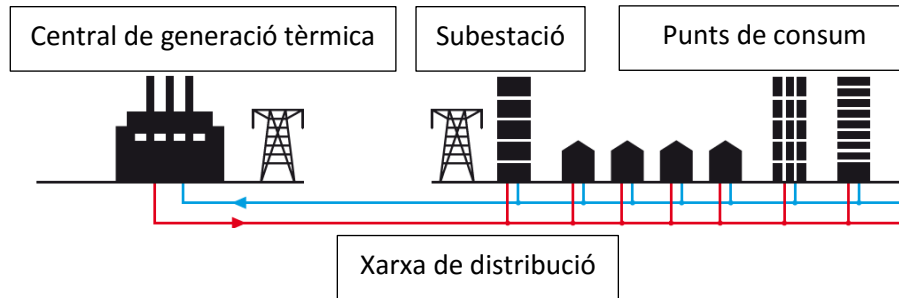
4.1.1. *Definició*

La calefacció urbana consisteix en sistemes centralitzats de calor compostos per canonades aïllades, que connecta els punts generadors amb diferents punts d'usuari als quals se'ls hi dona el servei de calefacció. És a dir, consisteix en generar l'energia tèrmica necessària, de manera centralitzada, per escalfar un fluid (habitualment aigua) fins a unes temperatures determinades per distribuir-lo i donar el servei de calefacció a escala urbana.

Els principals elements que componen aquests sistemes centralitzats són:

- a) Central de generació tèrmica:
És el nucli principal d'una xarxa de calefacció urbana. És on es genera l'energia tèrmica necessària que es distribuirà als usuaris mitjançant la xarxa de distribució.
El procés de generació habitualment està relacionat amb la utilització de recursos renovables. En el cas que ens centra el centre de processament de dades seria l'encarregat de fer aquesta funció de central de generació tèrmica.
- b) Xarxa de canonades de distribució:
La xarxa de distribució és una xarxa de canonades aïllades que distribueix l'energia tèrmica (fluid) entre la central de generació i els usuaris. Les temperatures màximes d'impulsió es troben entre 100-110 °C i les de retorn entre 20-60 °C [10] menors que les d'impulsió.
- c) Subestacions de connexió amb els usuaris finals:
L'energia tèrmica generada a la central de generació es transporta per la xarxa de distribució i arriba al consumidor mitjançant les subestacions. Les subestacions estan

situades a prop dels punts de consum, on s'adequa la pressió i les temperatures xarxa a les condicions de consum.



Imatge 3: Components d'una xarxa de sistema centralitzat [10].

4.1.2. Característiques tècniques

District clima és una empresa públic-privada dedicada a la implementació de xarxes urbanes de distribució de calor i fred. S'ha encarregat de la construcció de la xarxa de distribució de calor i fred a Barcelona.

En la Figura 34 a) es pot observar les temperatures de subministrament necessàries per donar servei de calefacció urbana, on la xarxa primària seria el que hauria de proporcionar la central tèrmica. En la Figura 34 b) hi ha representada la demanda tèrmica de calefacció per m^2 d'un dia típic de desembre a Barcelona en funció de l'hora del dia del sistema implementat per District clima.

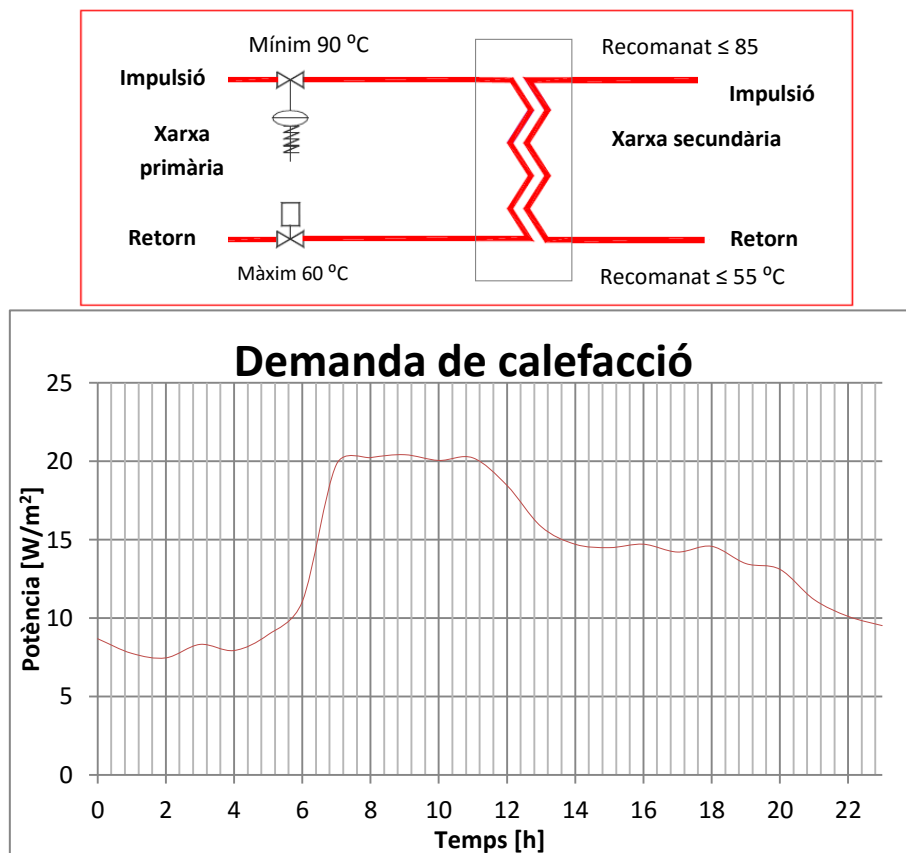


Figura 34: a) Característiques tèrmiques en relació a les temperatures del subministrament als usuaris [11]. b) Demanda de potència tèrmica d'un dia típic de desembre que subministra District clima [12].

4.2. Calefacció urbana de Baixa Temperatura

4.2.1. Definició

El sistema de calefacció urbana de baixa temperatura en línies generals és molt similar al cas anterior. Ara bé, un dels requisits indispensables és que els usuaris finals han d'estar adaptats amb emissors de calor de baixa temperatura (radiadors de baixa temperatura, terra radiant, etc.). Això significa un descens en les temperatures de funcionament i de la demanda energètica, però un major temps de funcionament de la instal·lació.

4.2.2. Característiques tècniques

Les característiques tècniques d'un sistema de calefacció urbana de baixa temperatura (temperatures de funcionament i demandes de potència) es presenten en la Taula 16:

Temperatures de funcionament	
Temperatura d'impulsió	50 °C
Temperatura de retorn	25 °C

Taula 16: Temperatures de funcionament d'un sistema típic de calefacció urbana de baixa temperatura (BT) [13].

Segons l'experiència diària del funcionament de diferents sistemes d'emissors de baixa temperatura (per exemple: terra radiant), s'ha elaborat un perfil horari típic de funcionament d'aquests tipus de sistema a Espanya. Obtenint com a perfil típic de funcionament el de la Figura 35. S'aplicarà aquest perfil per a tots els dies de funcionament de la calefacció. La demanda relativa respecte el màxim diari es considera el quocient entre la demanda i la demanda màxima diària.

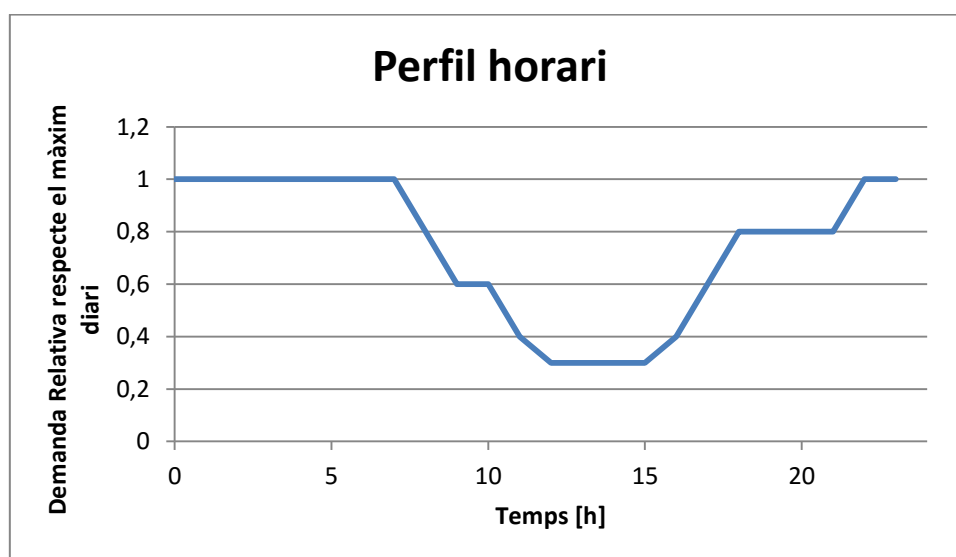


Figura 35: Perfil horari de demanda relativa respecte el màxim diari d'un sistema de calefacció de BT.

D'altra banda s'ha considerat el perfil mensual com el % de demanda de cada mes de l'any respecte el total anual (Figura 36). Aquest s'ha extrapolat d'un altra tipologia d'edifici destinat a l'activitat empresarial, ja que els mesos que estaran en funcionament la instal·lació seran els mateixos i en la mateixa proporció.

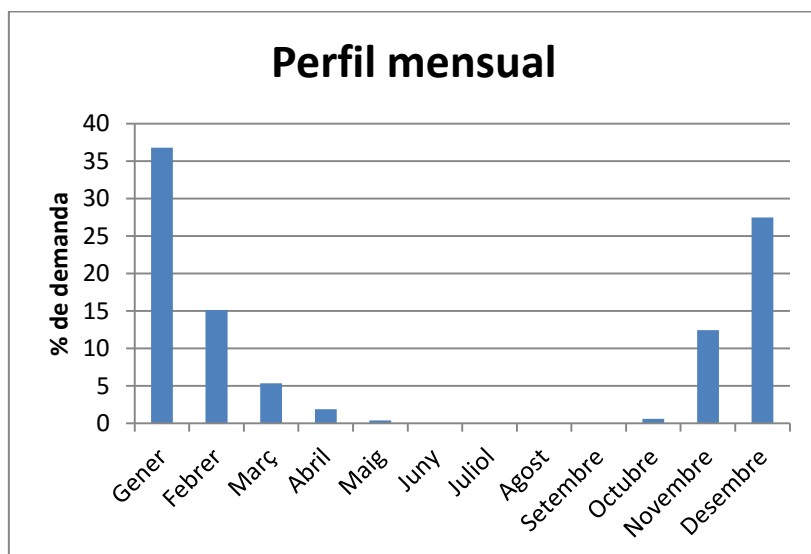


Figura 36: % de demanda tèrmica mensual [14].

A partir del perfil horari i mensual, i sabent que les edificacions de l'any 1980⁶ fins a l'actualitat tenen una demanda mitjana anual de 5,29 kWh/m² [15] es pot extreure el perfil de la Figura 37. La qual representa la demanda tèrmica per m² segon l'hora de l'any. En la Figura 38 està representada la demanda tèrmica per m², d'una setmana típica de gener, segons l'hora.

⁶ No es consideren els anys anteriors ja que les condicions de les edificacions anteriors a aquesta data es considera que no tenen un aïllament adequat i per tant les demandes tèrmiques no serien realistes.

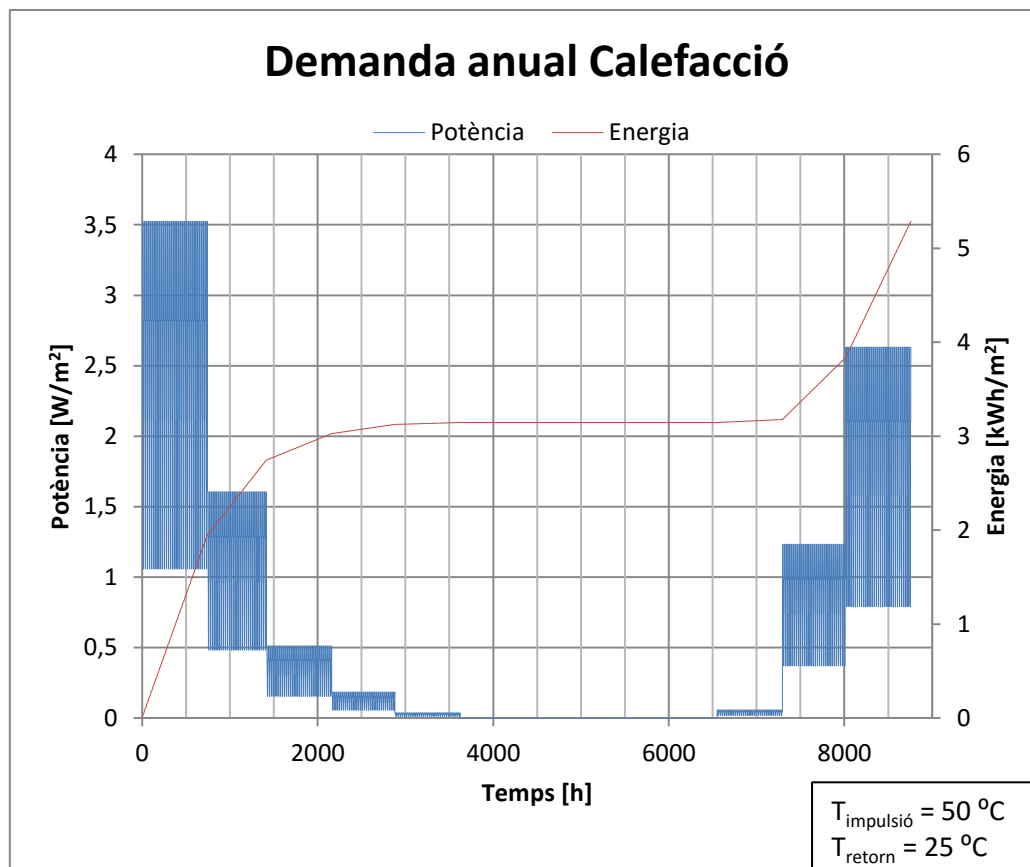


Figura 37: Demanda anual de potència per m^2 d'un sistema de calefacció urbana de baixa temperatura i l'energia acumulada anual necessària.

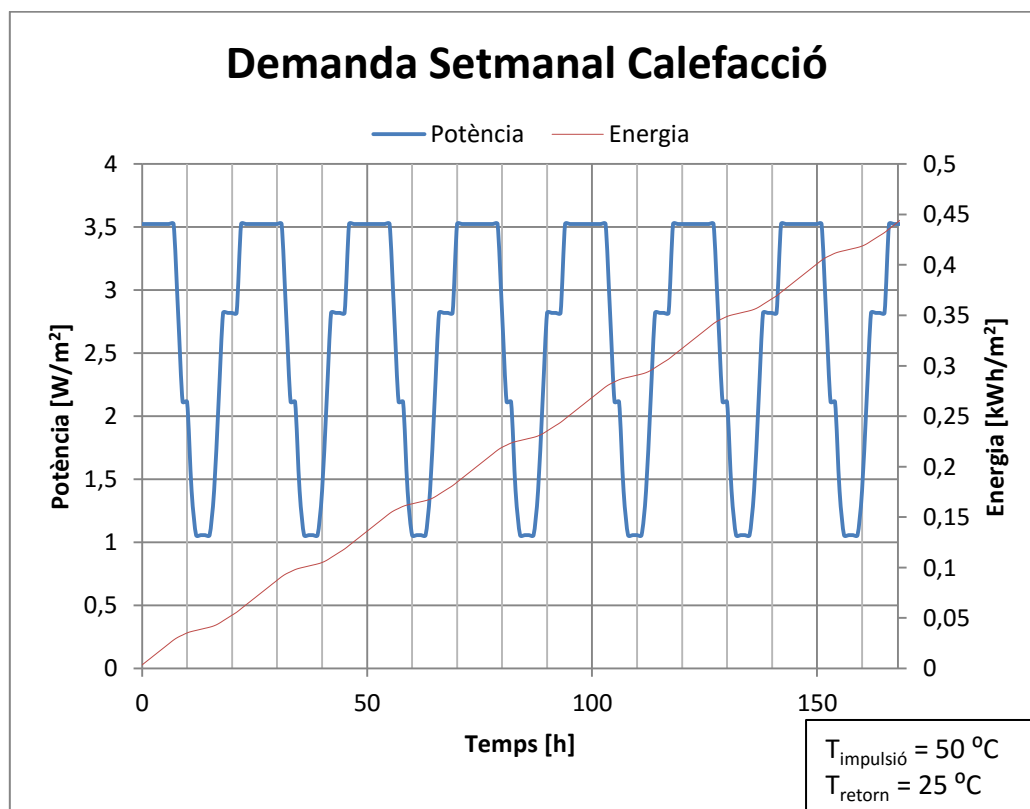


Figura 38: Demanda de potència d'una setmana típica de gener per m^2 . I l'energia acumulada necessària.

4.3. Piscines cobertes

4.3.1. Definició

Les piscines cobertes són estanys artificials dins d'espais tancats on es practiquen diversos esports aquàtics. La tipologia que tenen ve condicionada per les dimensions dels vasos. El vas constitueix l'espai esportiu característic d'aquestes instal·lacions [16]. L'estudi de demanda potencial es centrarà en el tractament de l'aigua del vas de la piscina i les temperatures d'aquesta, obviant el sistema de calefacció ja que les dades que es tenen del sistema de calefacció no són prou concloents per a realitzar l'estudi.

4.3.2. Característiques tècniques

Les temperatures de funcionament de l'aigua del vas vénen marcades per la Generalitat de Catalunya, les quals han d'estar entre 24-30 °C [16]. En relació a les demandes energètiques es prenen coma referència valors de tres piscines diferents situades a Lleida, en dos escenaris (sense manta tèrmica on el vas de la piscina està al descobert a la instal·lació i amb manta tèrmica on el vas de la piscina està cobert amb una manta on impedeix la pèrdua de calor a l'ambient):

Tipus de piscina	Dimensions (Llargada x Amplada x Alçada) [m]	Demanda (Sense Manta Tèrmica) [kWh]	Demanda (Amb Manta Tèrmica) [kWh]
Piscina Coberta 1	35x22,5x6	653380	578734
Piscina Coberta 2	41x22,5x6	767113	674539
Piscina Coberta 3	43x26,6x6	1032304	901205

Taula 17: Diferents escenaris de piscines cobertes, dades anuals [16].

Tipus de piscina	Àrea(Llargada x Amplada) [m ²]	Demanda (Sense Manta Tèrmica) [kWh/m ²]	Demanda (Amb Manta Tèrmica) [kWh/m ²]
Piscina Coberta 1	787,50	829,69	734,90
Piscina Coberta 2	922,50	974,11	856,56
Piscina Coberta 3	1143,80	1310,86	1144,39

Taula 18: Demandes energètiques anuals per m² de piscina [16].

Per tal de treballar amb una única dada per cada escenari, es farà la mitjana de les tres mostres segons es treballi amb manta tèrmica o sense.

Escenari	Demanda [kWh/m ²]
Amb manta tèrmica	1038,22
Sense manta tèrmica	911,95

Taula 19: Taula on es reflexa la demanda mitjana anual de les tres piscines segons es treballi amb manta tèrmica o sense.

Es considera una demanda constant al llarg del dia ja que considerem que les fluctuacions durant el dia són petites i la temperatura de l'aigua és constant, per tant, el perfil diari de la demanda energètica necessària serà el representat en Figura 39.

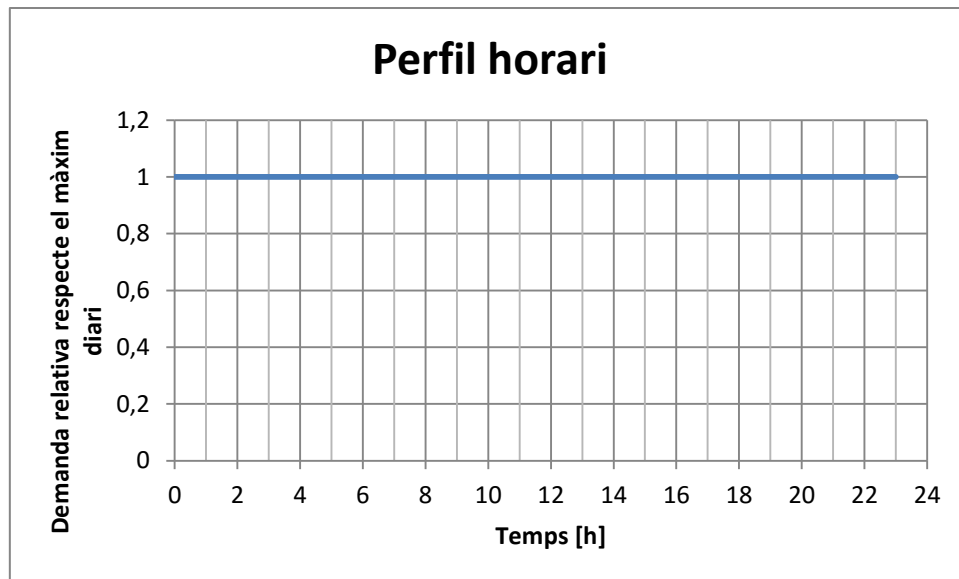


Figura 39: Perfil horari de la demanda requerida per escalfar l'aigua del vas de la piscina.

De la mateixa manera, es considera que al llarg de l'any la demanda també serà constant per les mateixes raons exposades anteriorment. Així doncs el 100% de la demanda anual es repartirà per igual en tots els mesos de l'any obtenint així el perfil mensual de la Figura 40.

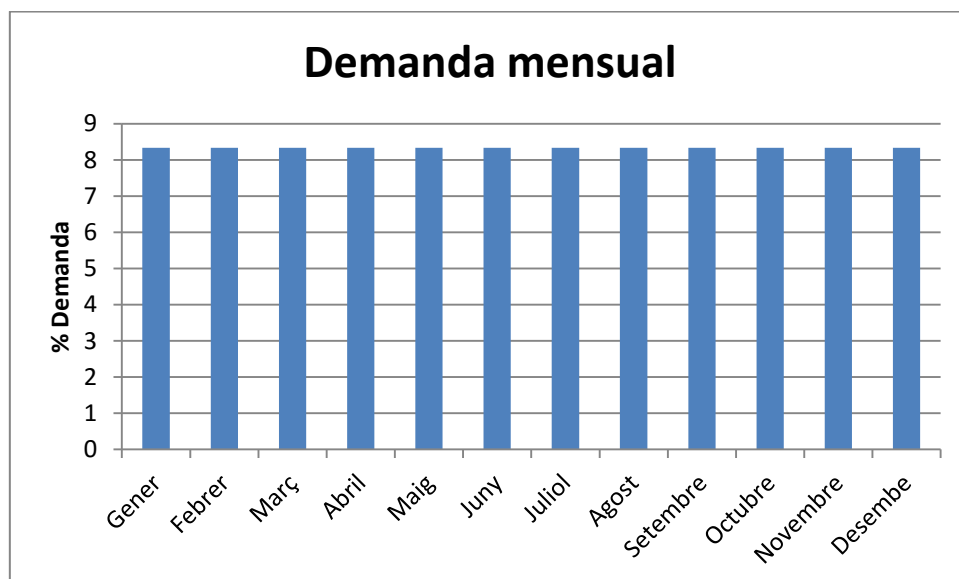


Figura 40: % de la demanda anual que es reparteix per igual durant tots els mesos de l'any.

A partir d'aquests dos perfils es pot obtenir la demanda energètica per cada hora de l'any, considerant que la demanda és durant 24 hores al dia 365 dies l'any. Per tant, la demanda d'una hora específica de l'any es pot obtenir segons l'equació Eq. (8):

$$Demanda \left[\frac{kWh}{m^2} \right] = \frac{Demanda_{total} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot any} \right]}{365 \left[\frac{dies}{any} \right] \cdot 24 \left[\frac{h}{dia} \right]} \quad \text{Eq. (8)}$$

On:

- Demanda_{total} : Demanda mitjana anual
- Demanda : Demanda horària

Per tal de passar la demanda energètica a demanda potencial es procedeix segons Eq. (9):

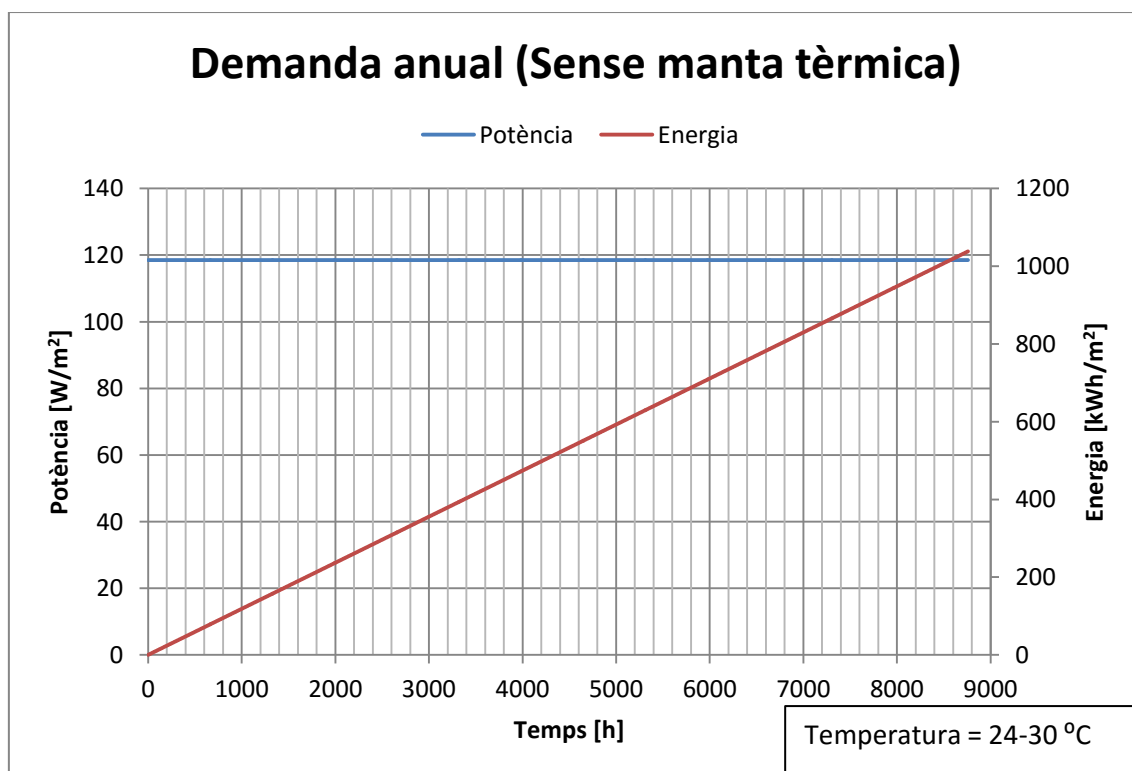
$$Demanda_{potencial} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{E}{\Delta t} = \frac{Demanda_{energètica} \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \cdot \frac{3,6 \cdot 10^6 [J]}{1 [kWh]}}{3600 [s]} = \frac{J}{m^2 \cdot s} = \frac{W}{m^2} \quad \text{Eq. (9)}$$

On:

- E: Demanda energètica amb J.
- Δt: Increment de temps amb s.

Ja que l'estudi s'ha realitzat cada hora, l'increment de temps serà 3600 s.

D'aquesta manera s'obtenen els perfils anuals, amb i sense manta tèrmica, per m² de vas de piscina segons l'hora de l'any (Figura 41).



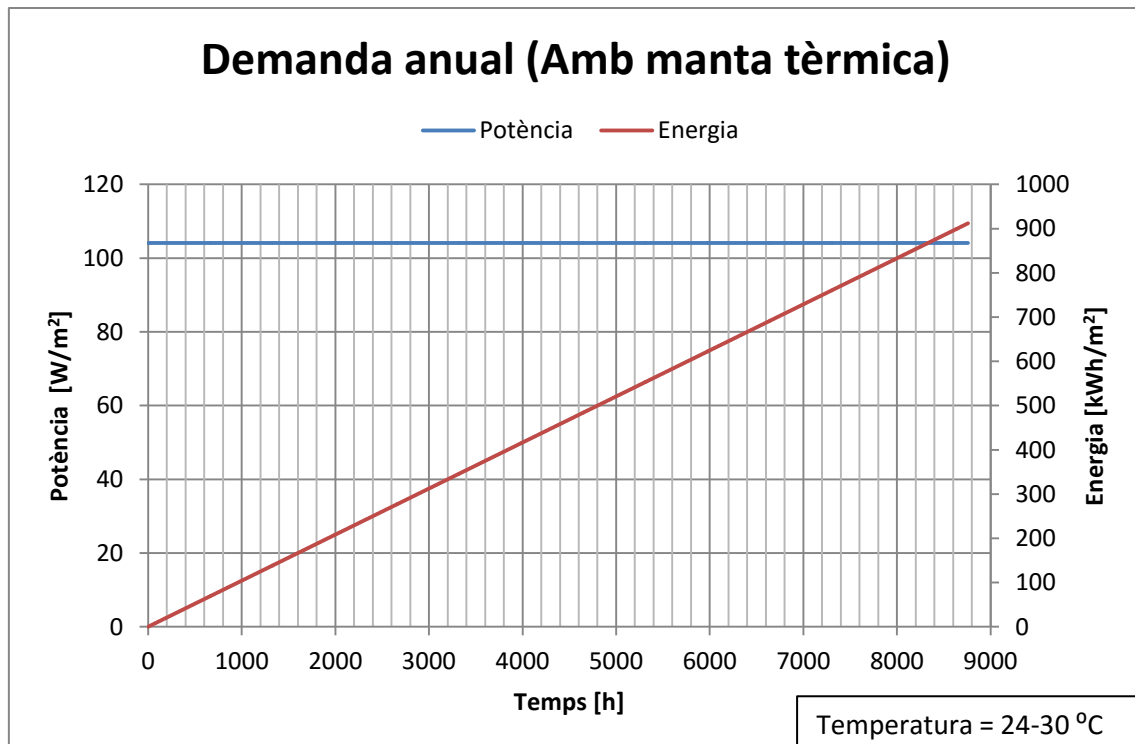


Figura 41: Representació gràfica de la demanda potencial per m^2 respecte cada hora de l'any i de l'energia acumulada necessària, a) sense manta tèrmica i b) amb manta tèrmica.

4.4. Calefacció individual i ACS en habitatges

4.4.1. Definició

Un sistema de calefacció i Aigua Calenta Sanitària (ACS) individual, consisteix en que en el mateix edifici es genera l'energia tèrmica necessària per abastir les demandes d'aquest. Per tant es té una central tèrmica individual (normalment una caldera de gas) a partir de la qual s'escalfa l'aigua necessària per enviar, a través de les canonades, als emissors de calor de l'habitatge i/o als punts de consum d'aigua calenta (dutxa, aixetes, etc.). En aquest cas es diferencia l'estudi de la calefacció i l'aigua calenta sanitària (ACS) per un habitatge situat a Barcelona.

4.4.2. Característiques tècniques: Calefacció individual

Les temperatures de funcionament d'una calefacció individual estàndard són:

	Temperatura [°C]
Impulsió màxima	80
Salt tèrmic habitual	20
Retorn	60

Taula 20: Temperatures de funcionament d'un radiador estàndard [17].

A nivell de les demandes de potència es tenen els perfils diaris i anuals d'un habitatge a Barcelona si està sota coberta o entre plantes, segons les dades s'observa que la demanda és major entre plantes, per tant s'utilitzaran aquestes per ser el cas més desfavorable [18]. La superfície mitjana d'un habitatge a l'Estat Espanyol és de 89,44 m² [19]. Per tant entre les demandes i la superfície mitjana s'obté els perfils anuals de demanda energètica per m². En la Figura 42 hi ha representada la demanda tèrmica (potència) per m² segons l'hora de l'any. També s'hi representa l'energia per m² segons l'hora de l'any acumulada, és a dir, l'energia necessària a produir durant un interval de temps determinat.

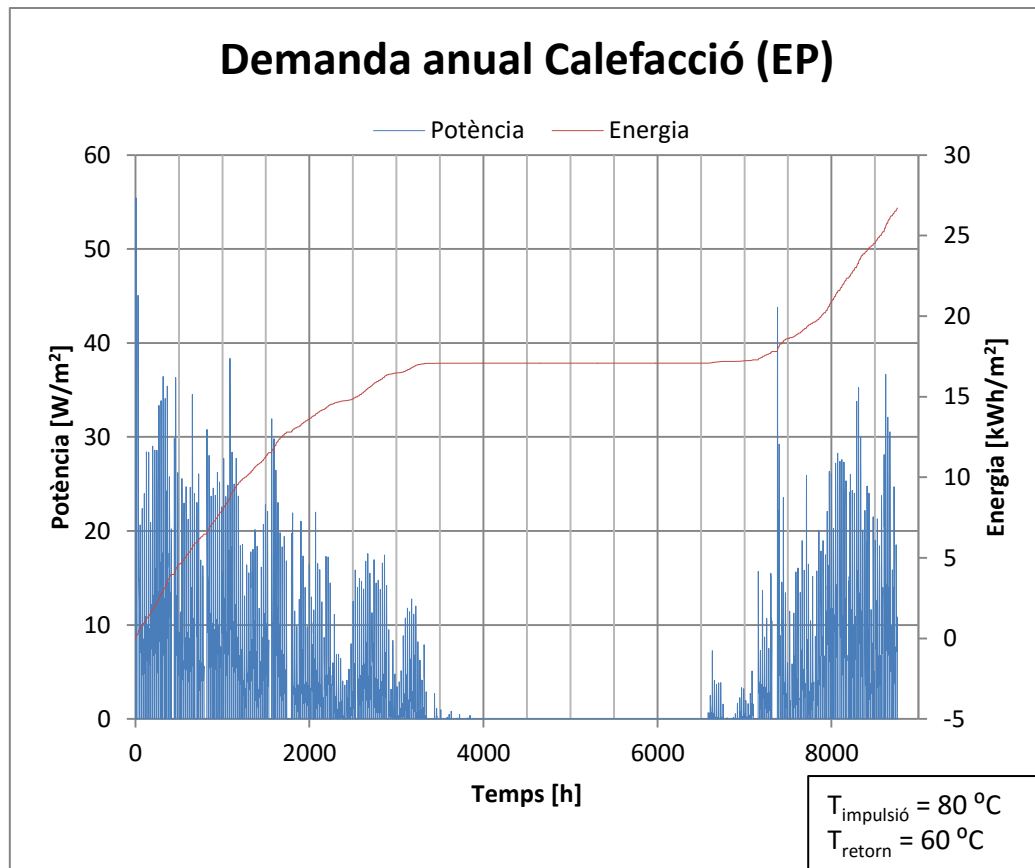


Figura 42: Demanda de potència anual per m² d'un habitatge residencial segons l'hora de l'any i el total d'energia necessària [18].

4.4.3. Característiques tècniques: Aigua Calenta Sanitària (ACS)

Les temperatures de funcionament de l'ACS estàndard són:

	Temperatura [°C]
T subministrament habitual	50
T evitar legionel·la	70

Taula 21: Temperatures de subministrament de l'ACS [20].

Les demandes de potència d'ACS s'extreuen del mateix estudi que de la calefacció individual. Així doncs la Figura 43 representa la demanda tèrmica per m², d'una setmana típica de gener, segons l'hora de la setmana. També s'hi representa l'energia necessària acumulada per m² segons l'hora. En la Figura 44 es representa el mateix però augmentant l'interval de temps fins a l'any.

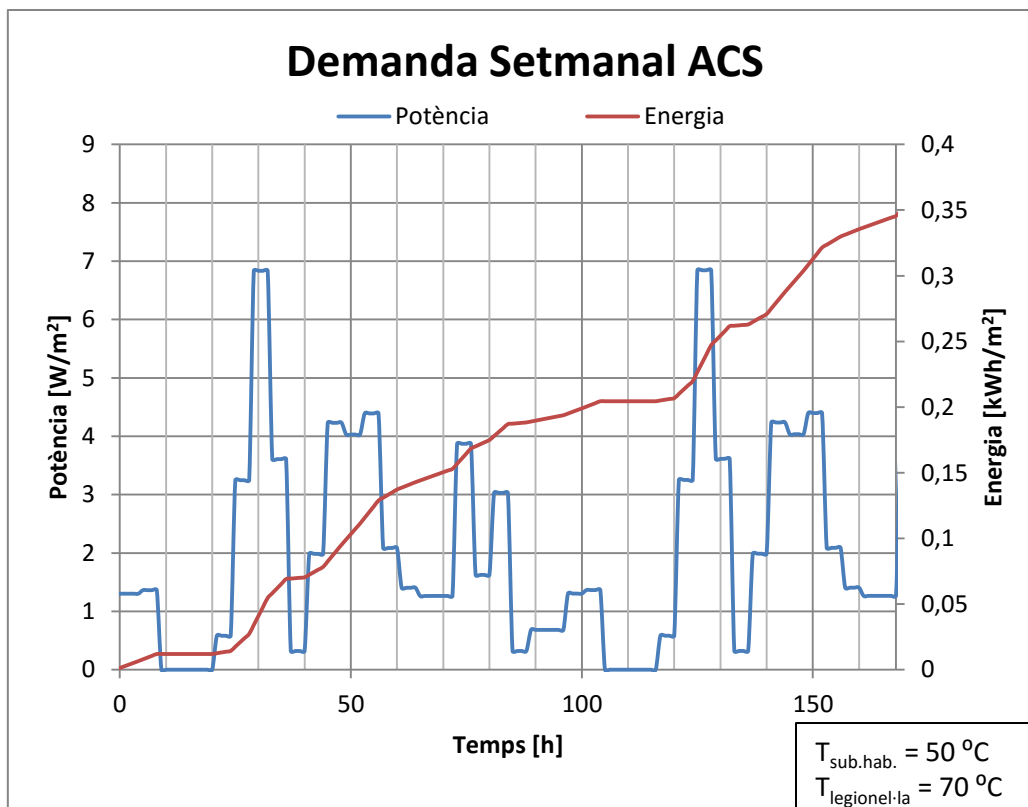


Figura 43: Demanda potencial anual per m^2 d'ACS en un habitatge residencial segons una setmana típica de gener i el total d'energia necessària [18].

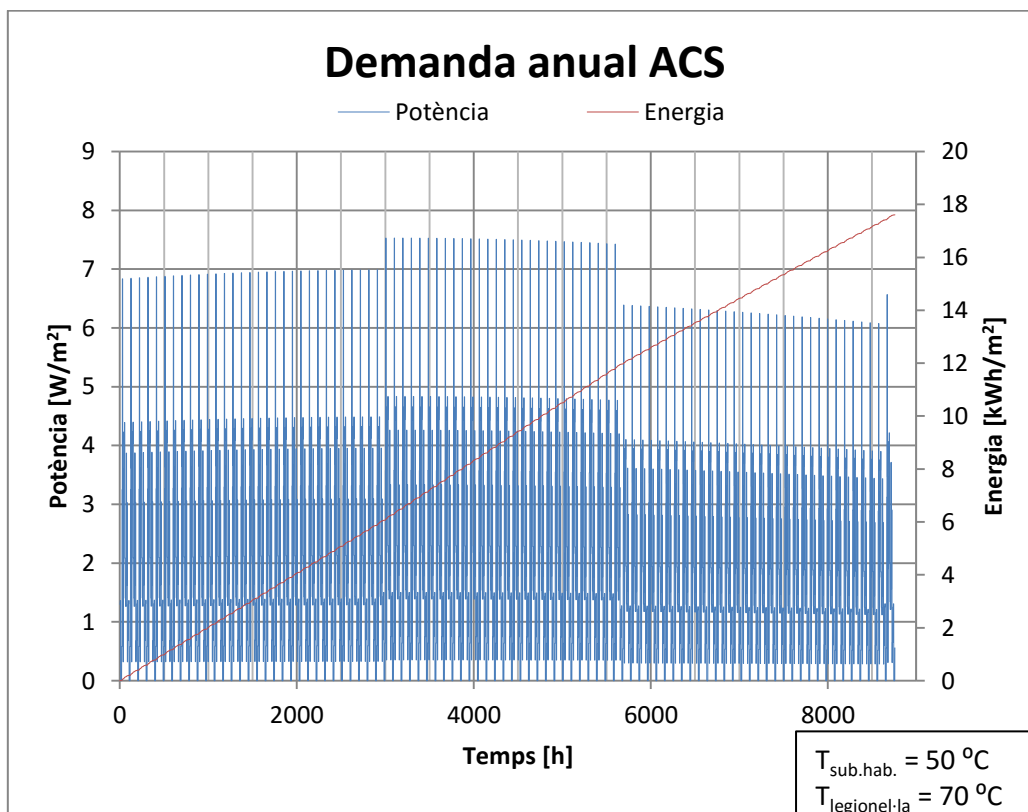


Figura 44: Demanda potencial anual per m^2 d'ACS en un habitatge residencial segons l'hora de l'any i el total d'energia necessària [18].

4.4.4. Calefacció i ACS

Per saber la demanda energètica total d'un habitatge es suma la demanda de calefacció i la demanda d'ACS, obtenint el perfil de la Figura 45. On es representa la demanda tèrmica total (calefacció i ACS) per m^2 i l'energia acumulada necessària per m^2 .

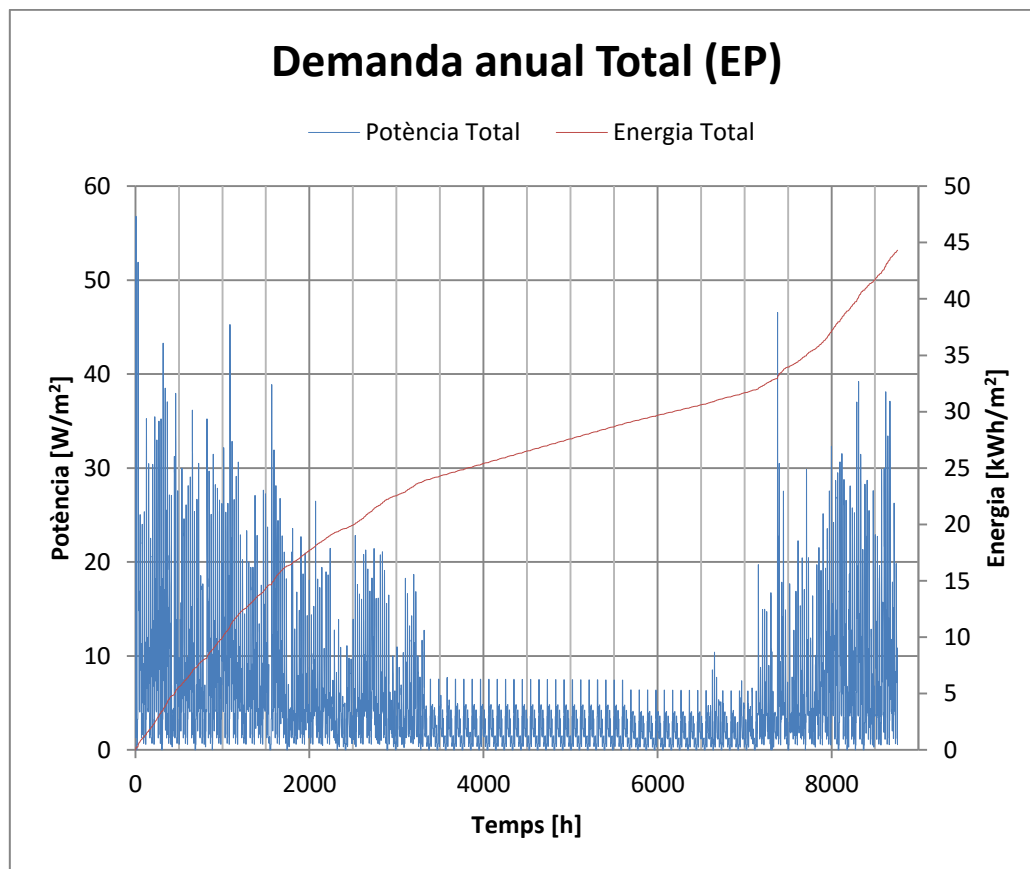


Figura 45: Demanda potencial anual per m^2 de calefacció i ACS en un habitatge residencial segons l'hora de l'any i el total d'energia necessària.

També és interessant veure la comparativa de demanda energètica entre la calefacció i ACS, com es mostra en la Figura 46. On es pot observar que la demanda d'ACS és relativament constant durant tot l'any, en canvi en la demanda tèrmica per calefacció hi ha fluctuacions més grans segons l'hora de l'any que ens trobem.

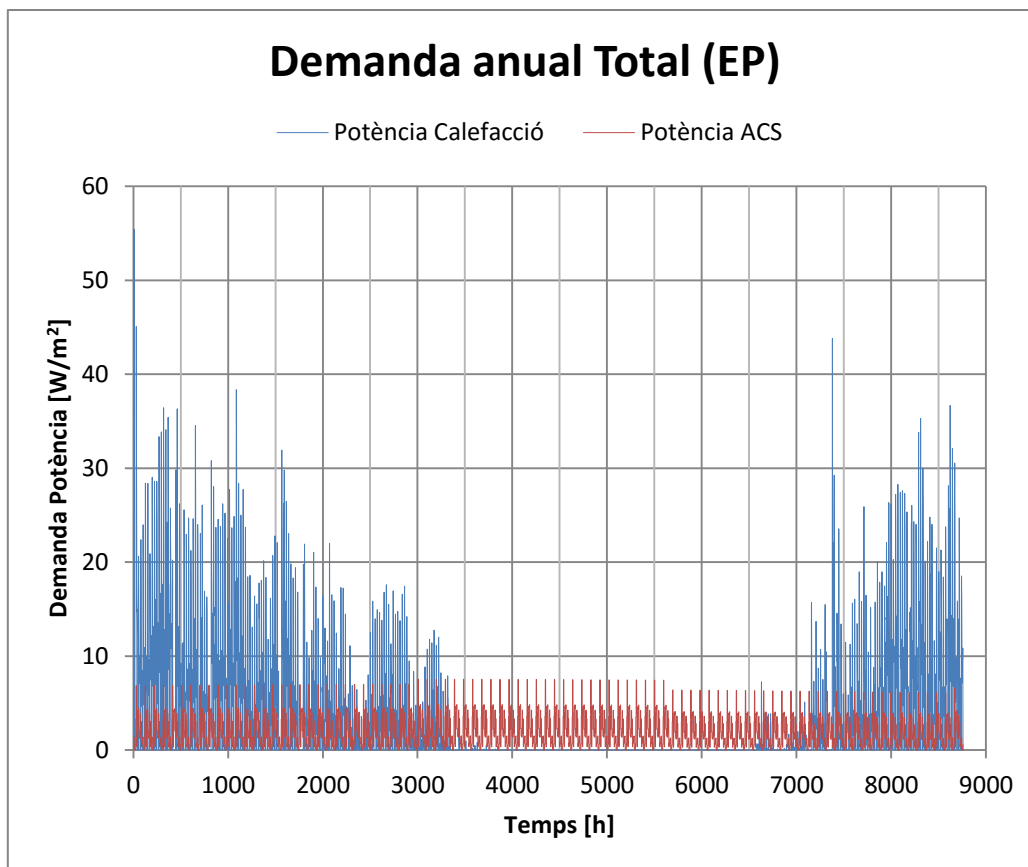


Figura 46: Comparativa entre la demanda de calefacció d'un habitatge i la demanda d'ACS.

4.5. Calefacció individual en un edifici d'oficines

El sistema de calefacció és el mateix que en un habitatge, explicat en el punt 4.4.1.

4.5.1. Característiques tècniques

L'anàlisi consisteix en les demandes de calefacció d'edificis empresarials i d'oficines que segueixen un horari laboral. Per tant els caps de setmana es considera que no hi haurà demanda tèrmica i durant els dies laborables es considerarà que la calefacció no s'apaga per complet, és a dir, es deixa en funcionament de manera residual per no haver de començar des del principi cada dia. Així doncs el perfil horari diari estàndard segueix el patró de la Figura 47. També es té el perfil mensual durant l'any d'un complex d'oficines situat a Lleida, que es veu plasmat en la Figura 48. Es considera que els emissors tèrmics (radiadors) són estàndards, per tant, les temperatures de funcionament són les mateixes que en un habitatge exposades en el punt 4.4.2.

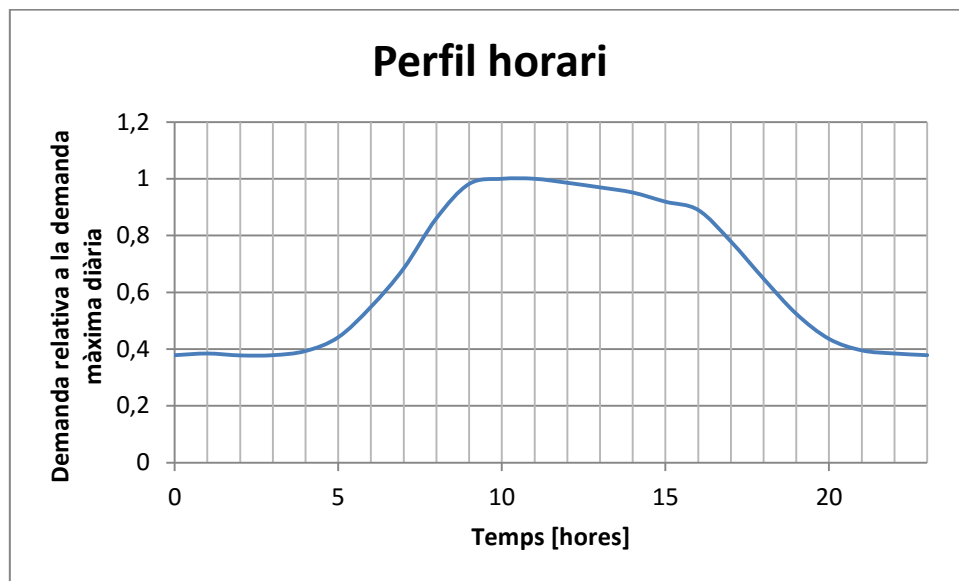


Figura 47: Perfil horari diari d'un dia laboral de demanda relativa respecte el màxim diari de calefacció [21].

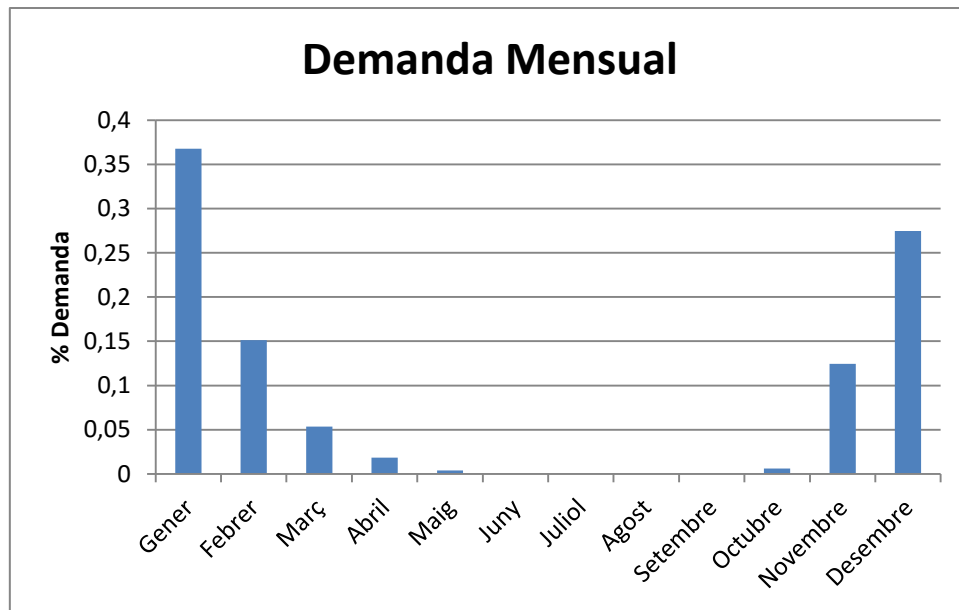


Figura 48: % de la demanda de calefacció mensual [14].

A partir dels perfils anteriors i sabent que un edifici d'oficines consumeix de mitjana entre 33,4 i 47,8 kWh/m²[22], es pot obtenir el perfil anual de demanda tèrmica per hora. S'utilitzarà la major dada de demanda energètica, ja que es considera el cas més desfavorable, però transformant la demanda energètica en potència segons l'equació Eq. (9). Obtenint els perfils de demanda representats en la Figura 49 a) on es representa la demanda tèrmica per m² d'una setmana típica de gener i l'energia acumulada durant aquest període de temps. En la Figura 49 b) es representa el mateix però en l'interval de temps d'un any.

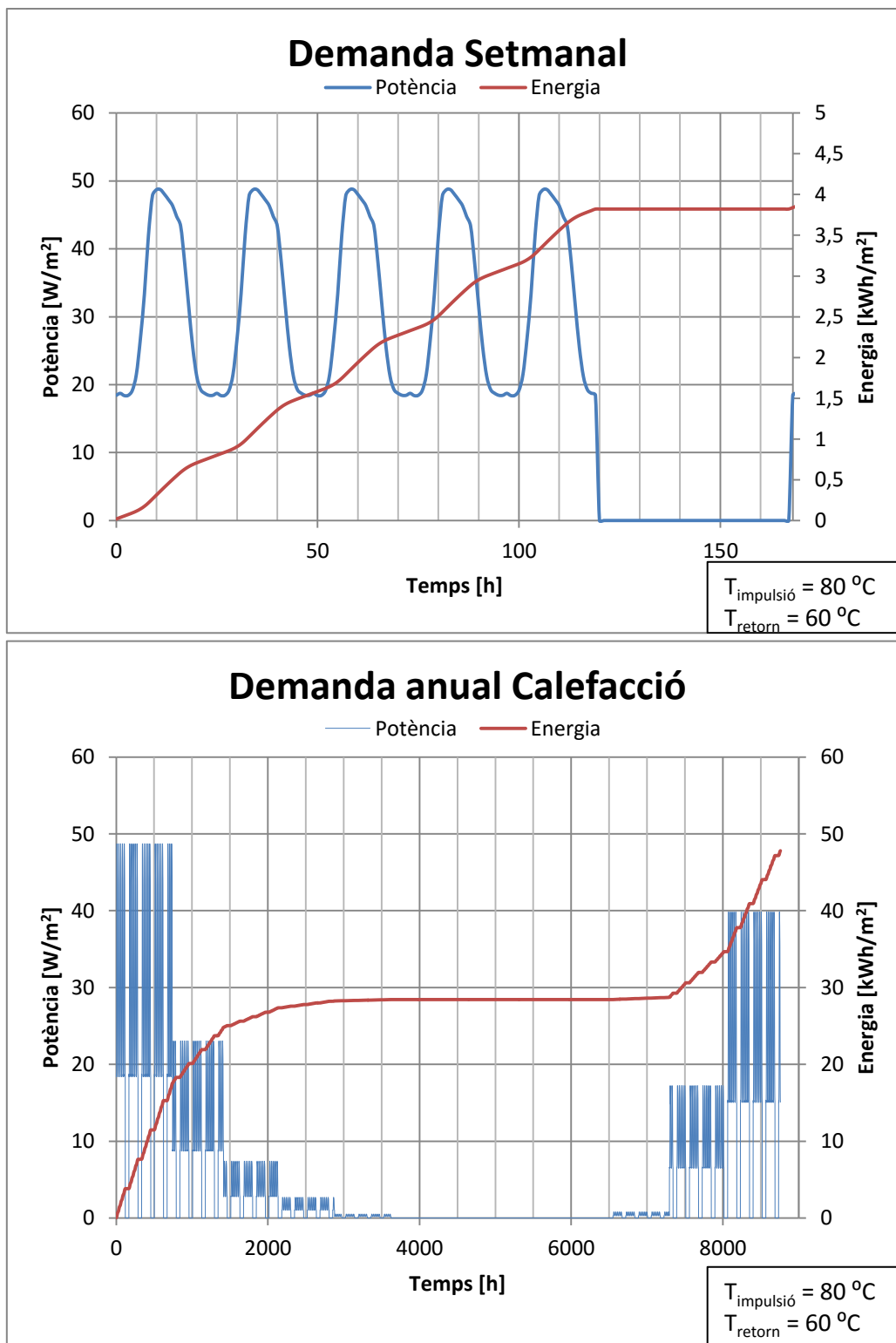


Figura 49: Demandes de potència per m^2 d'edificis d'oficines. a) Perfil d'una setmana, segons l'hora, típica de gener b) Perfil anual segons l'hora de l'any.

4.6. Calefacció i ACS d'un hospital

4.6.1. Definició

En un hospital la producció de calor i ACS és similar a una calefacció individual, però a majors dimensions. És a dir en el mateix punts de consum es genera l'energia tèrmica necessària mitjançant calderes de gas.

S'analitza els consums destinats a la producció de calefacció i ACS de l'hospital Arnau de Vilanova de Lleida. A partir de les factures de gas diàries del complex (Exemple de les dades mare en la Taula 22) [23]. Per tal de diferenciar la part de consum de gas que s'utilitza per la producció de calefacció i la producció d'ACS s'ha considerat que durant els mesos de juliol i agost no es produeix calefacció. Per tant s'agafa la mitjana de consum dels dies d'aquests dos mesos i es considera com a consum constant anual per a la producció d'ACS (6034,52 kWh) i es resta als altres dies de l'any. Es vol obtenir la demanda de calefacció i ACS, i les dades de partida que es tenen són els consums de gas, per tant, es considera un rendiment típic d'una caldera de gas de $\eta_{caldera}=0.8$ i segons l'equació Eq. (10) s'obté la demanda de calefacció i ACS.

$$Demanda = Consum \text{ de gas} \cdot \eta_{caldera} \quad \text{Eq. (10)}$$

Consum de gas total [kWh]	Consum de gas producció ACS [kWh]	Demanda d'ACS [kWh]	Consum de gas producció calefacció [kWh]	Demanda de calefacció [kWh]
66298	6034,52	4827,61	60263,48	48210,79
68344	6034,52	4827,61	62309,48	49847,59
63949	6034,52	4827,61	57914,48	46331,59
57906	6034,52	4827,61	51871,48	41497,19
63054	6034,52	4827,61	57019,48	45615,59
62079	6034,52	4827,61	56044,48	44835,59
57192	6034,52	4827,61	51157,48	40925,99
52986	6034,52	4827,61	46951,48	37561,19
53701	6034,52	4827,61	47666,48	38133,19
57770	6034,52	4827,61	51735,48	41388,39
56360	6034,52	4827,61	50325,48	40260,39
61250	6034,52	4827,61	55215,48	44172,39
58446	6034,52	4827,61	52411,48	41929,19
60092	6034,52	4827,61	54057,48	43245,99
63649	6034,52	4827,61	57614,48	46091,59
52712	6034,52	4827,61	46677,48	37341,99
49755	6034,52	4827,61	43720,48	34976,39
52087	6034,52	4827,61	46052,48	36841,99
53043	6034,52	4827,61	47008,48	37606,79
53681	6034,52	4827,61	47646,48	38117,19
56768	6034,52	4827,61	50733,48	40586,79
51779	6034,52	4827,61	45744,48	36595,59
54691	6034,52	4827,61	48656,48	38925,19
49324	6034,52	4827,61	43289,48	34631,59
52642	6034,52	4827,61	46607,48	37285,99
57558	6034,52	4827,61	51523,48	41218,79
50971	6034,52	4827,61	44936,48	35949,19
50603	6034,52	4827,61	44568,48	35654,79
40719	6034,52	4827,61	34684,48	27747,59
35988	6034,52	4827,61	29953,48	23962,79
45084	6034,52	4827,61	39049,48	31239,59

Taula 22: Taula exemplificativa del procediment seguit pel tractament de les dades. Columna 1: Consum total de gas [23]. Columna 2: Consum de gas destinat a la producció d'ACS (mitjana dels consums de gas dels mesos de juliol i agost). Columna 3: Demanda d'ACS que s'obté aplicant el rendiment de l'equació Eq. (10) en relació al consum de gas destinat a la producció d'ACS. Columna 4: Consum de gas destinat a la producció de calefacció que s'obté restant al consum total de gas el consum de gas destinat a la producció d'ACS. Columna 5: Demanda de calefacció que s'obté aplicant l'equació Eq. (10) en relació al consum de gas destinat a la producció de calefacció.

Una vegada tenim diferenciades les dues aplicacions (calefacció i ACS), es procedeix a l'estudi de cada aplicació per separat.

4.6.2. Característiques tècniques: Calefacció

A partir de les dades anteriors es té els perfils mensuals, per tal d'obtenir els perfils diaris es considera que la demanda de calefacció segon l'hora del dia és constant (Figura 50). És a dir que funciona durant 24 h al dia. Considerant que la superfície de l'hospital és de 65209,37 m² [24] i aplicant el factor de conversió de l'equació Eq. (9) s'obté la demanda de potència per hora durant tot l'any (Figura 51).

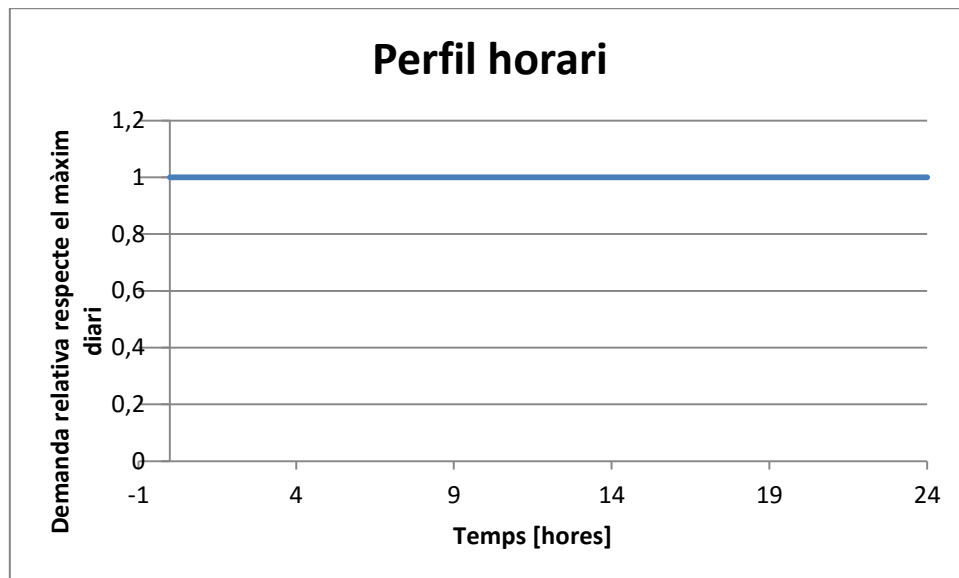


Figura 50: Demanda de calefacció relativa respecte el màxim d'un dia.

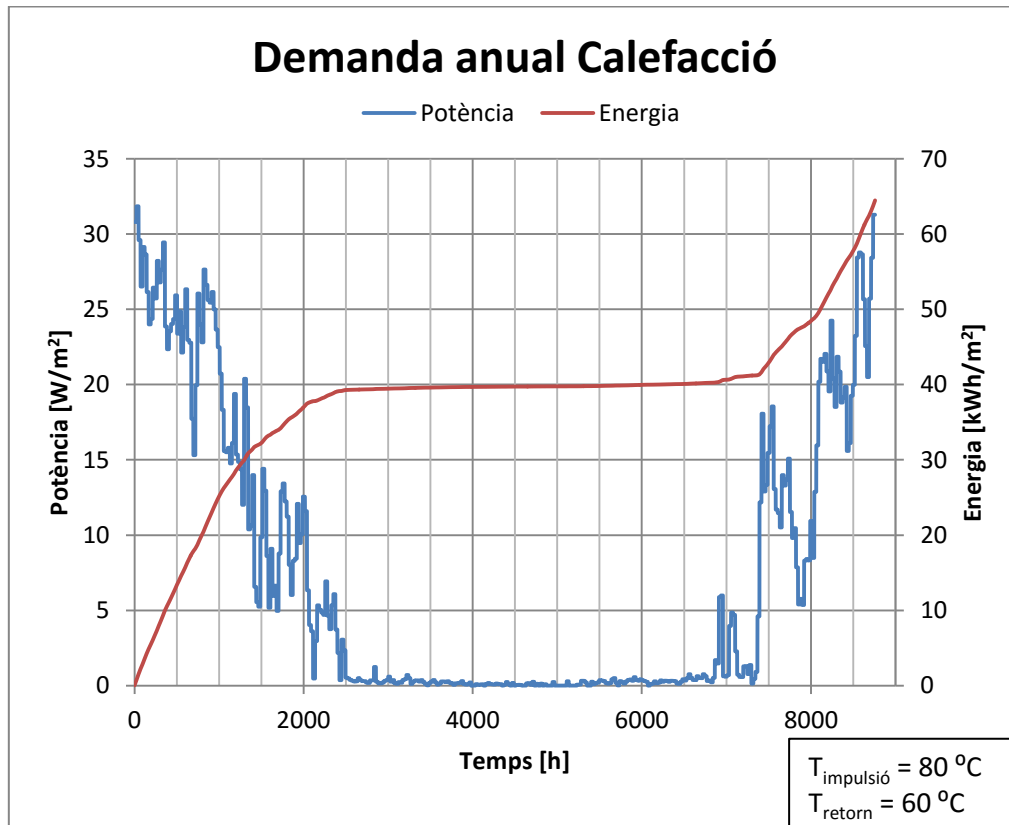


Figura 51: Demanda de calefacció per m² respecte l'hora de l'any i l'energia total necessària.

4.6.3. Característiques tècniques: Aigua Calenta Sanitària (ACS)

Com ja s'ha puntualitzat anteriorment es considera que el consum d'ACS és constant durant tot l'any. Considerant un perfil horari de demanda diària similar al d'un hotel i modificant-lo a partir de les 17h quan es considera que en un hospital baixa la demanda considerablement i a més a més tenint en compte la superfície de l'hospital i aplicant l'equació Eq. (9) s'obtenen els valors de demanda de potència durant una setmana i durant tot l'any segons l'hora (Figura 53 i Figura 54).

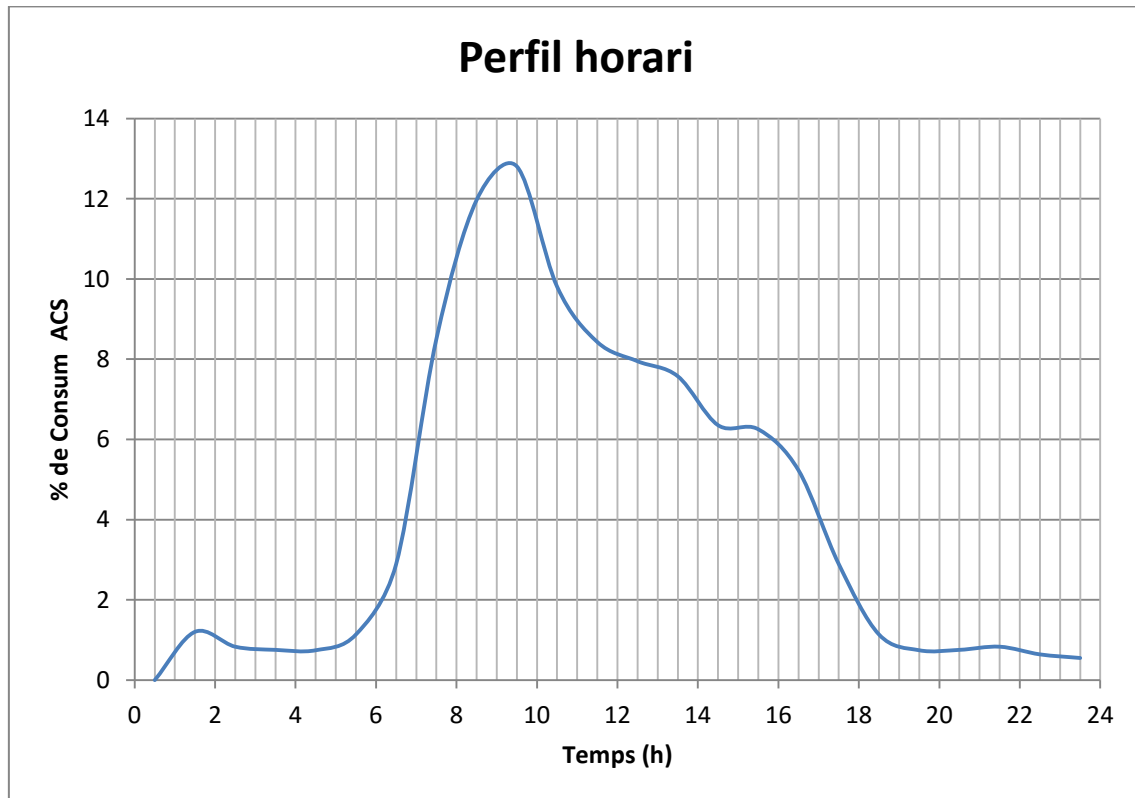


Figura 52: Perfil de demanda d'ACS respecte l'hora del dia.

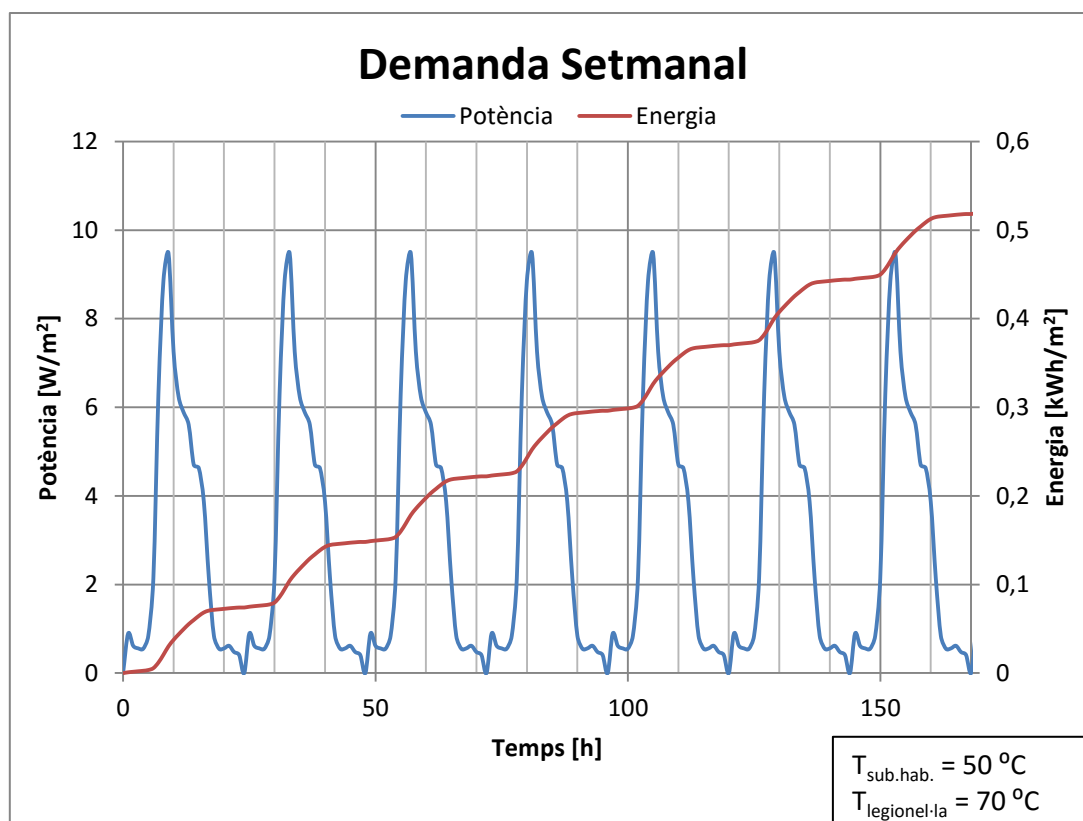


Figura 53: Demanda d'ACS, d'una setmana típica, per m^2 respecte l'hora del mes de gener i el total d'energia necessària.

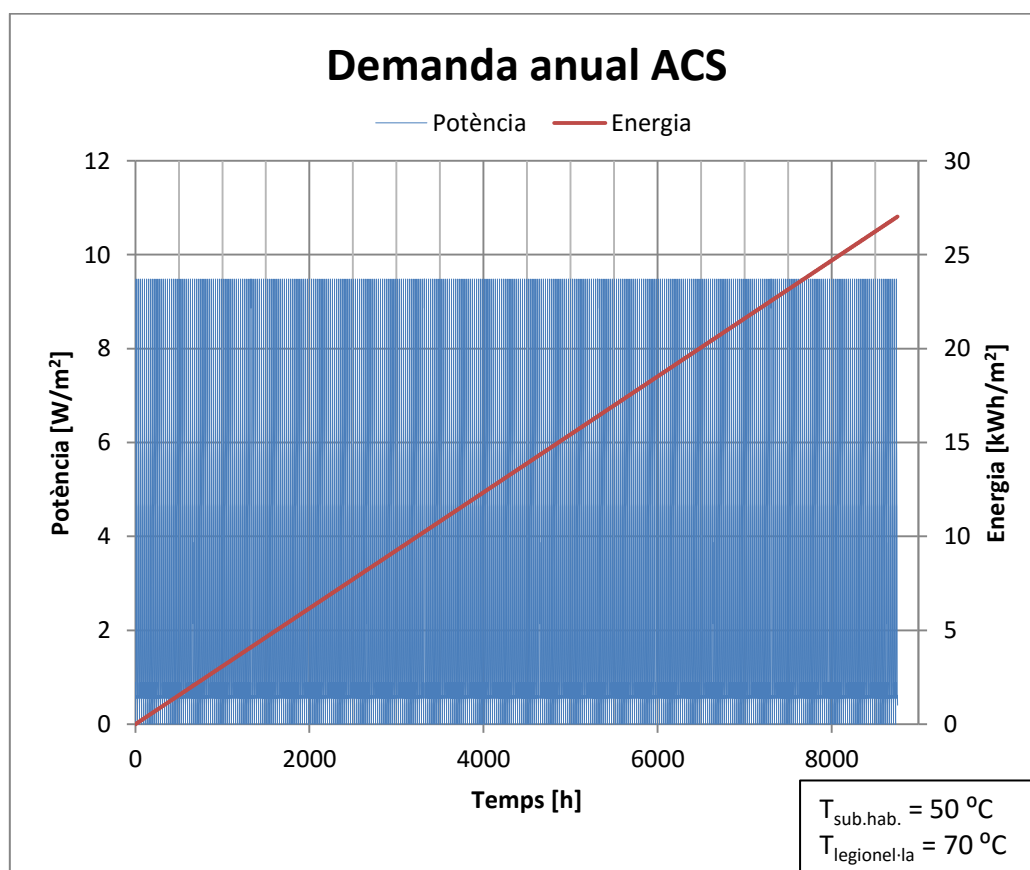


Figura 54: Demanda d'ACS anual per m^2 respecte l'hora de l'any i el total d'energia necessària.

4.6.4. Calefacció i ACS

Sumant les demandes de calefacció i ACS s'obté la demanda total segons l'hora de l'any, plasmat en la Figura 55.

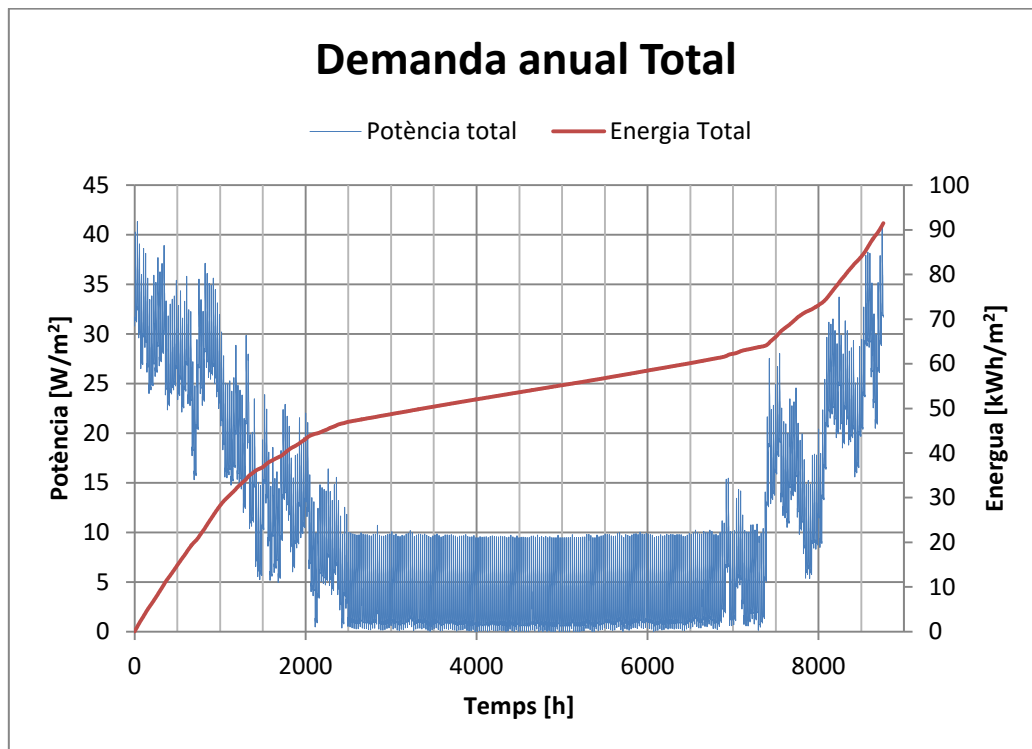


Figura 55: Demanda anual tota per m², que engloba la calefacció i ACS, segons l'hora de l'any. I l'energia total necessària.

Per veure la comparativa entre la demanda de calefacció i ACS, es pot observar en la Figura 56. En la qual s'observa que la demanda d'ACS és relativament constant a diferència de la demanda de calefacció que fluctua segons l'hora de l'any de manera més important.

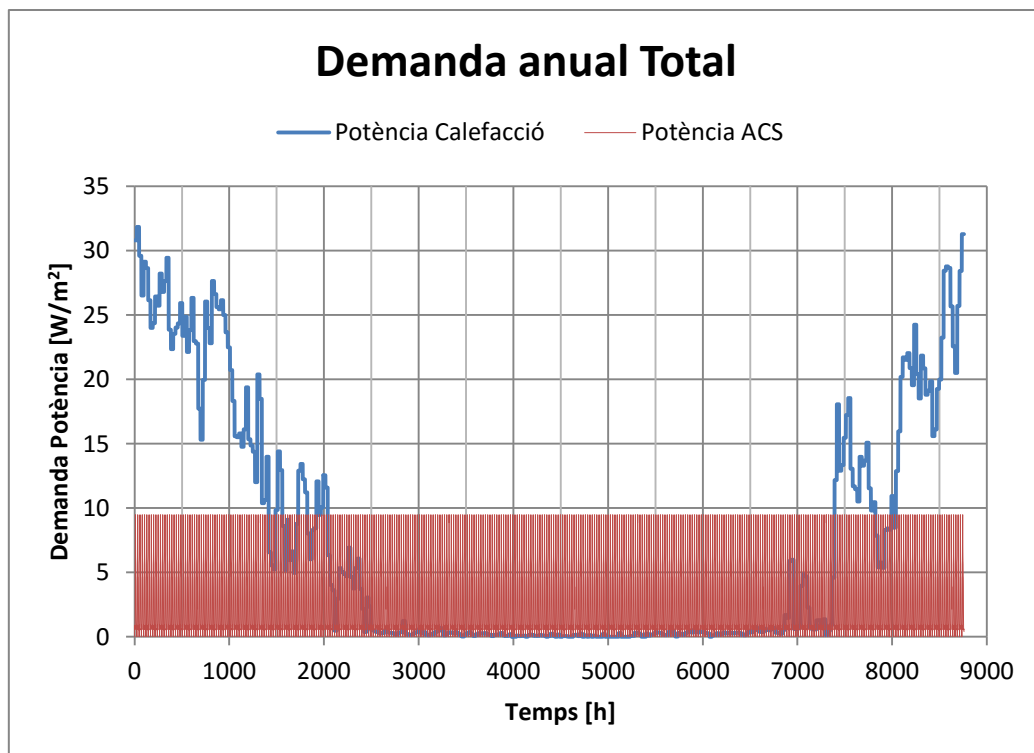


Figura 56: Comparativa de demanda de calefacció i ACS.

4.7. Calefacció i ACS en hotels

El sistema de calefacció i ACS és molt similar al d'un hospital definit el punt 4.6.3. S'analitzen les demandes de calefacció i ACS d'un hotel situat a Barcelona.

4.7.1. Característiques tècniques: Calefacció

Segons la distribució energètica de la Figura 57 i considerant que la calefacció no s'atura durant tot el dia, per tant, funciona durant les 24 h al dia (Figura 58) de manera constant.

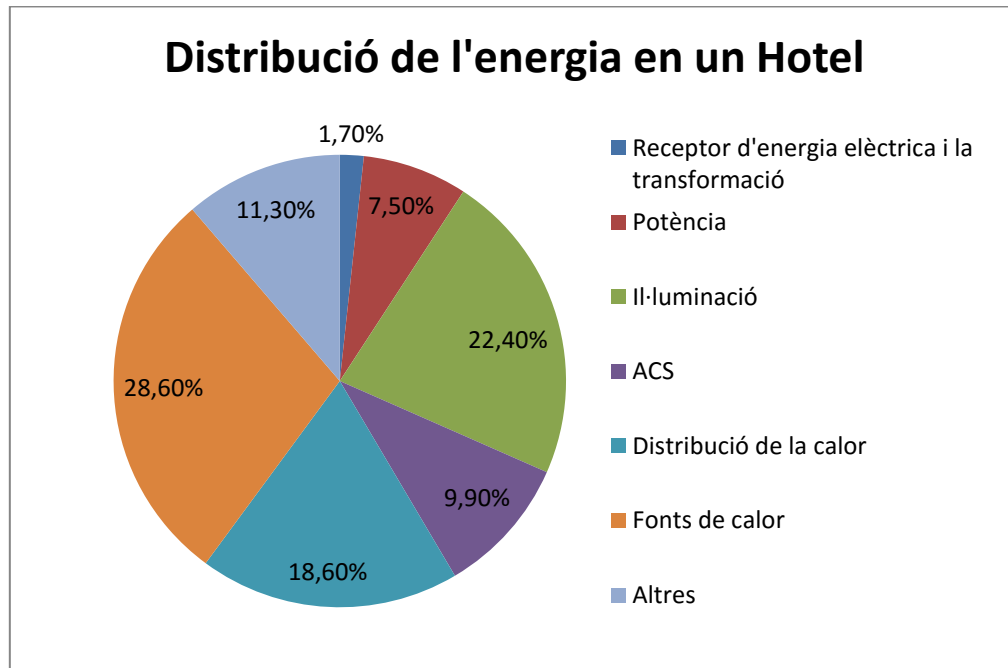


Figura 57: Distribució del consum d'energia en un hotel. On el total de l'energia consumida anual és de 2772 MJ/m². (Demanda de calefacció anual: 296,604 MJ/m².) [25]

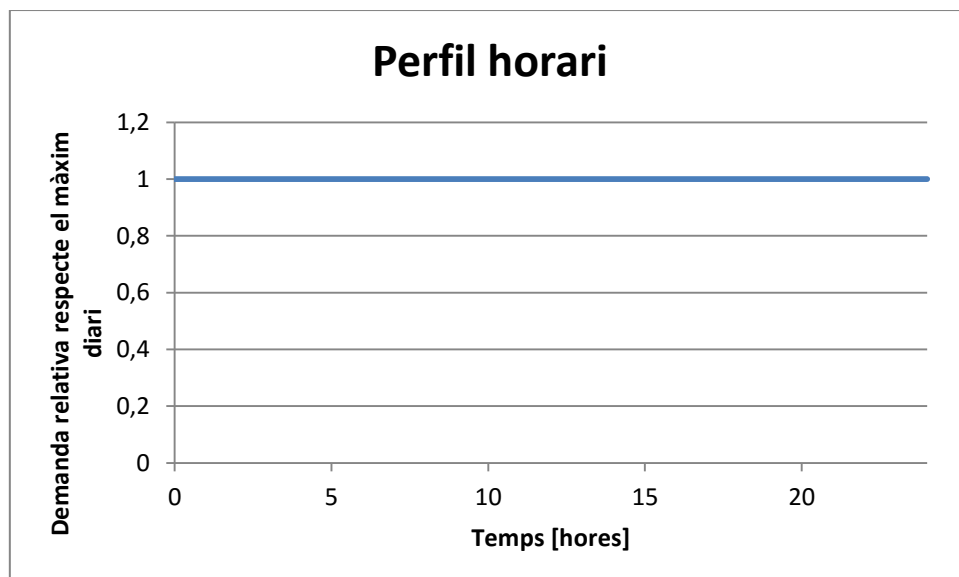


Figura 58: Demanda relativa respecte el màxim diari durant totes les hores del dia [25].

Les demandes mensuals energètiques es veuen representades en la Figura 59. A partir d'aquests dos perfils, aplicant el factor de conversió de l'equació Eq. (11), es poden obtenir les demandes de potència per cada hora de l'any (Figura 60).

$$Demanda_{potència} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{Demanda_{energia} \left[\frac{MJ}{m^2} \right] \cdot \frac{10^6 [J]}{1 [MJ]}}{3600 [s]} = \frac{[J]}{[s] \cdot [m^2]} = \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad \text{Eq. (11)}$$

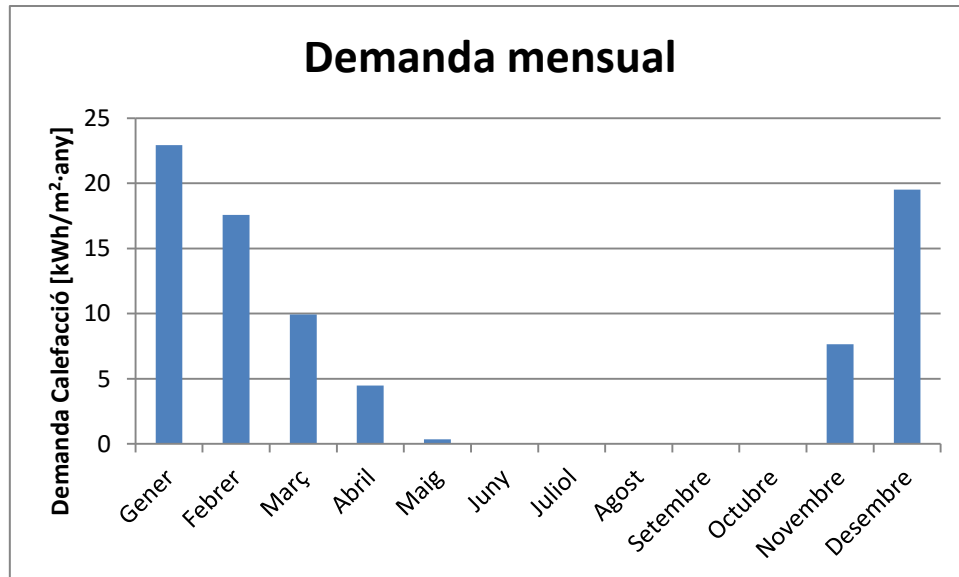


Figura 59: Demanda típica de calefacció de cada mes a Barcelona [25].

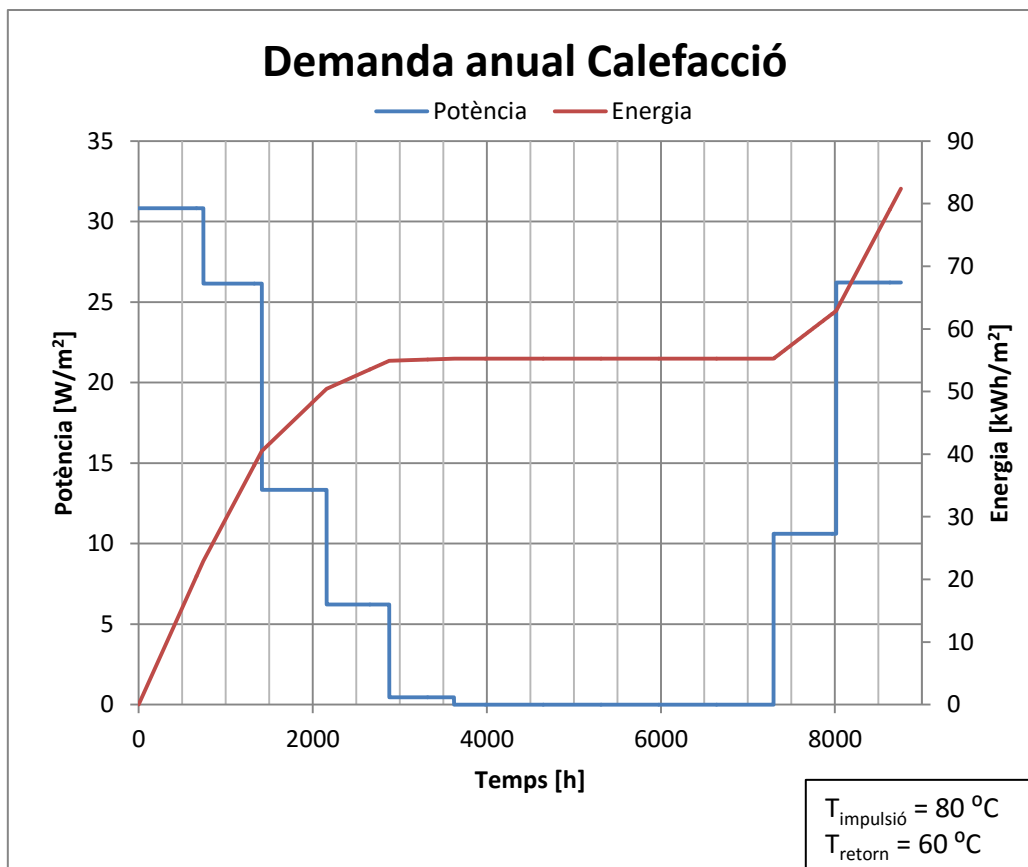


Figura 60: Demanda de potència de calefacció per m^2 per cada hora de l'any i el total d'energia necessària per cada hora.

4.7.2. Característiques tècniques: Aigua Calenta Sanitària (ACS)

Segons el perfil horari de la Figura 62. Considerant que és el mateix durant tot l'any. I el consum anual d'ACS de la Figura 61.

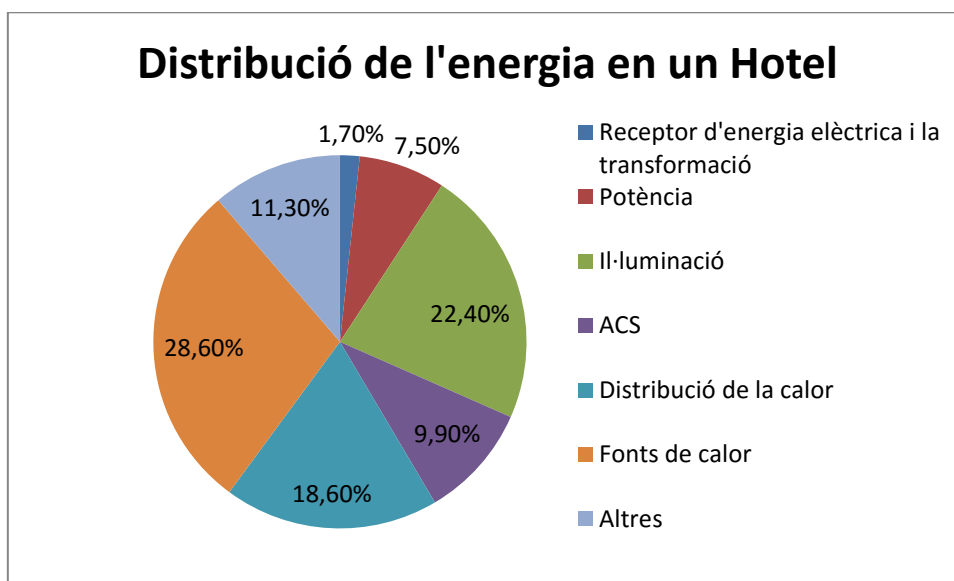


Figura 61: Distribució del consum d'energia en un hotel. On el total de l'energia consumida anual és de 2772 MJ/m^2 . (Demanda d'ACS anual: 274,428 MJ/m^2 .) [25]

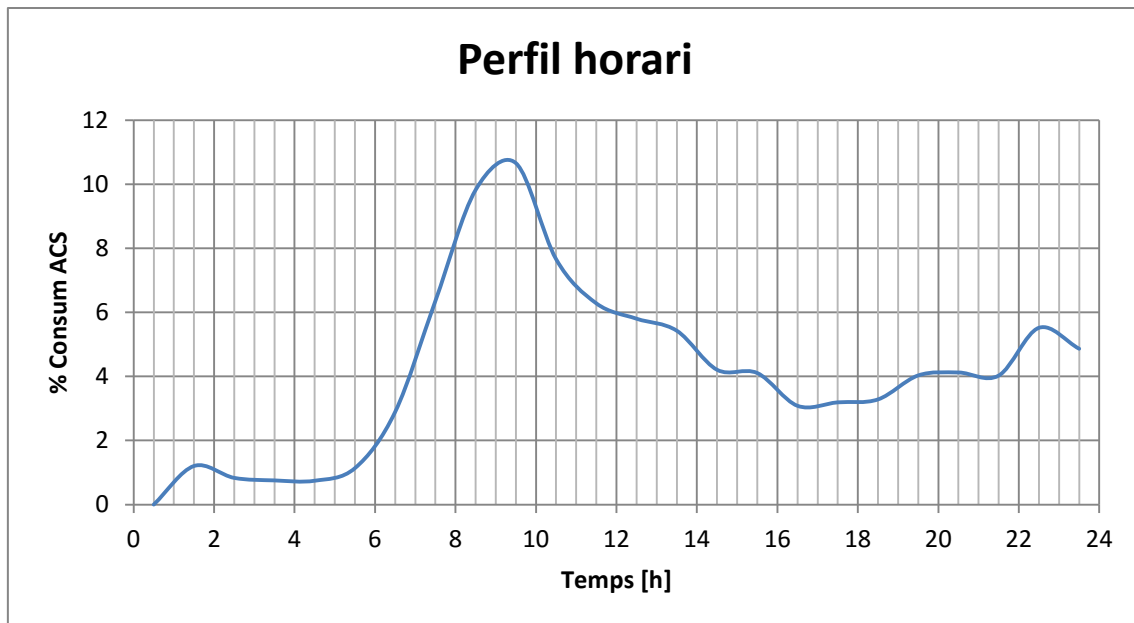


Figura 62: Perfil horari del consum d'ACS durant un dia típic [25].

En la Figura 63 es pot observar el perfil de demanda tèrmica per m^2 durant una setmana típica de gener i l'energia acumulada necessària per cobrir aquesta demanda. En la Figura 64 està representat durant tot l'any. Les característiques tècniques a nivell de temperatures de funcionament són les mateixes que les exposades anteriorment en el punt 4.4.3 en la Taula 21.

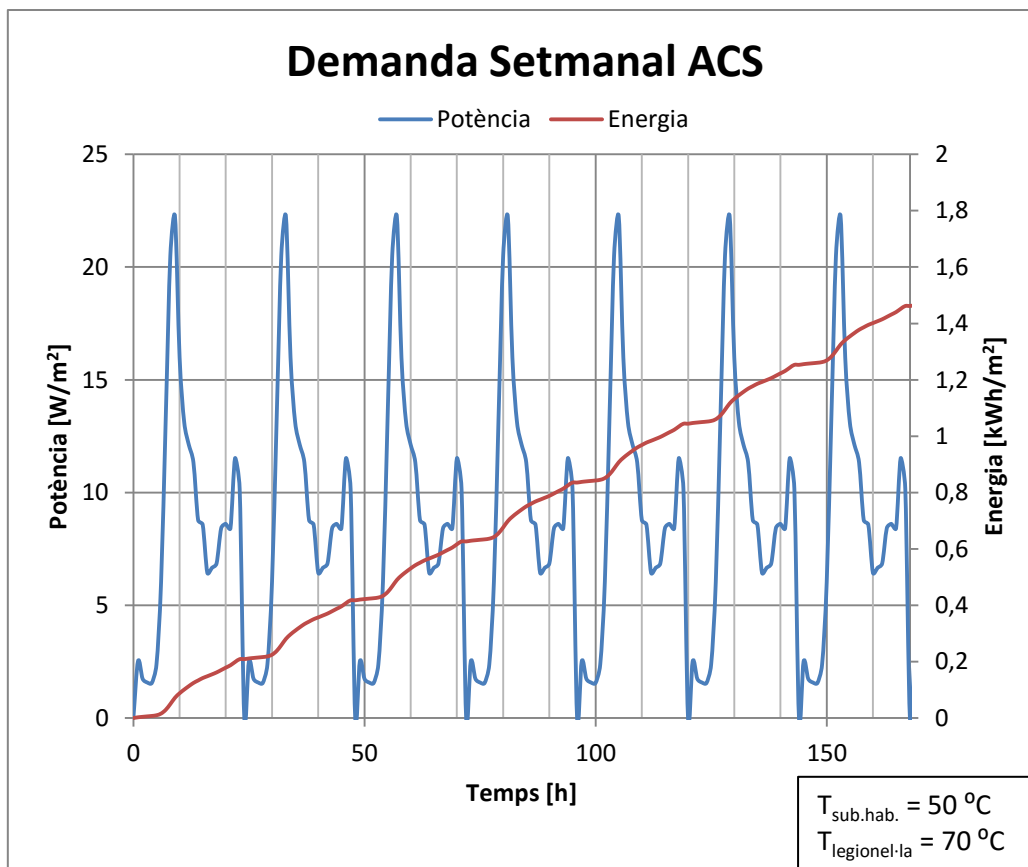


Figura 63: Demanda, d'una setmana típica de gener, de potència per m^2 d'ACS en un hotel. I l'energia necessària.

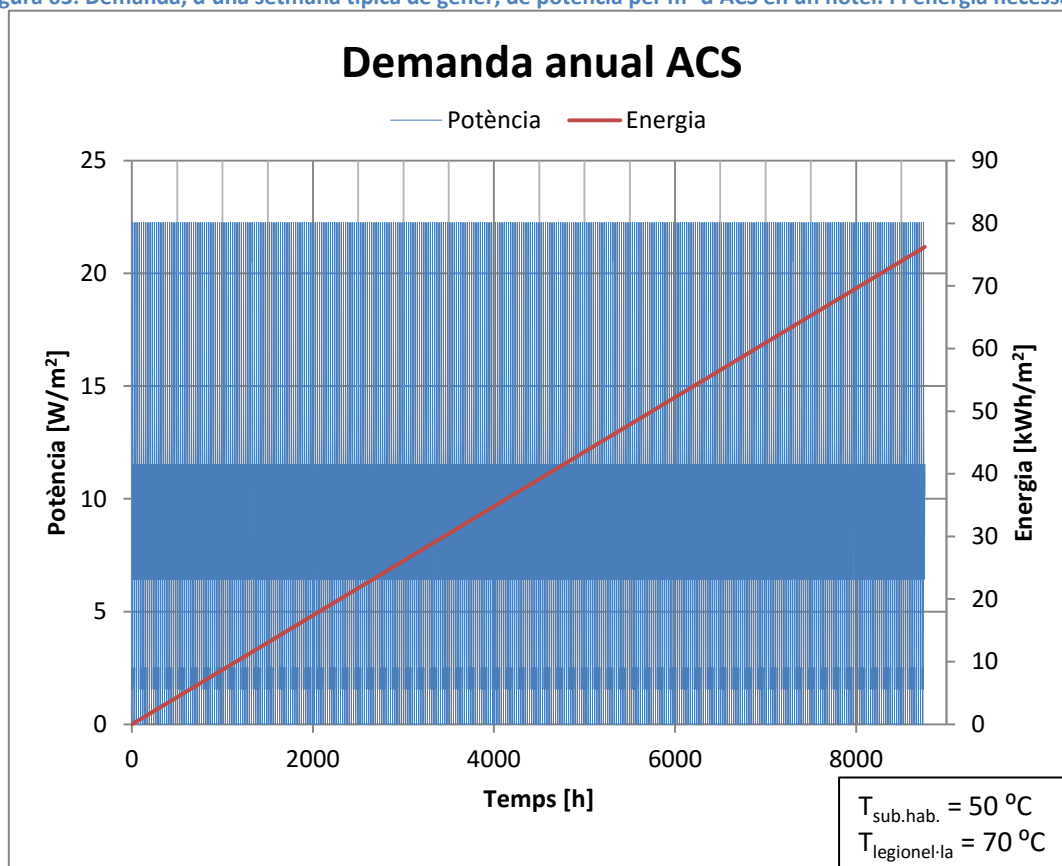


Figura 64: Demanda anual de potència per m^2 segons l'hora de l'any d'ACS. I l'energia necessària.

4.7.3. Calefacció i ACS

Sumant les dues demandes anteriors s'obté el perfil anual total de la Figura 65.

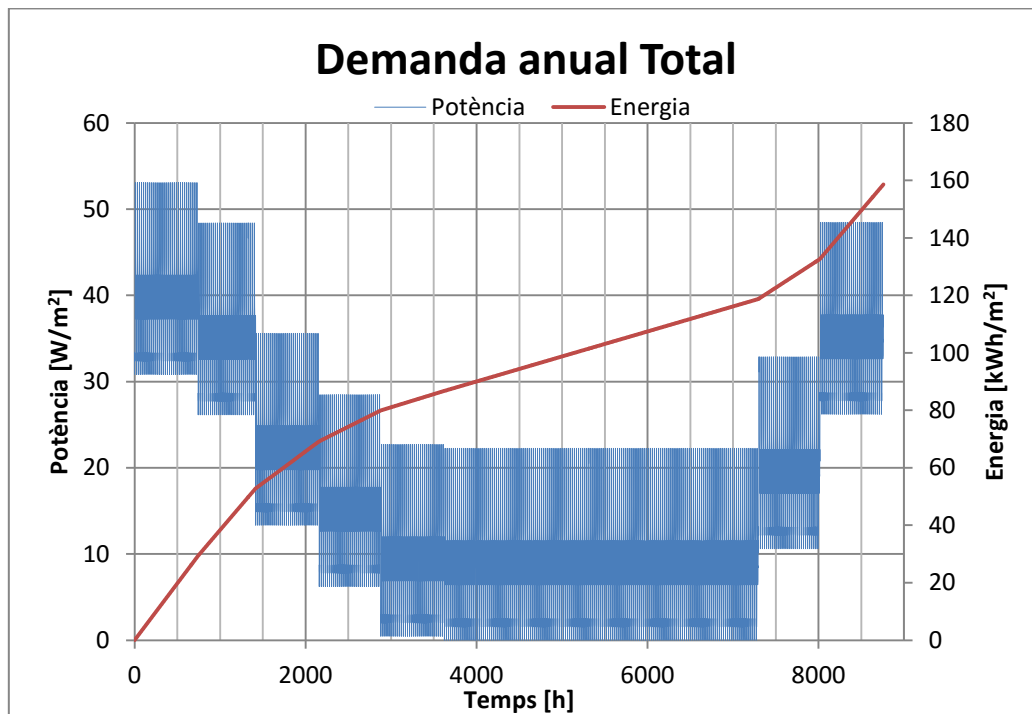


Figura 65: Demanda anual total de calefacció i ACS per m^2 en un hotel.

D'altra banda en la Figura 66, es veu plasmada la comparació entre la demanda de calefacció i d'ACS anual, que igual que en anteriors casos es veu la fluctuació de la demanda per calefacció a diferència de la demanda d'ACS.

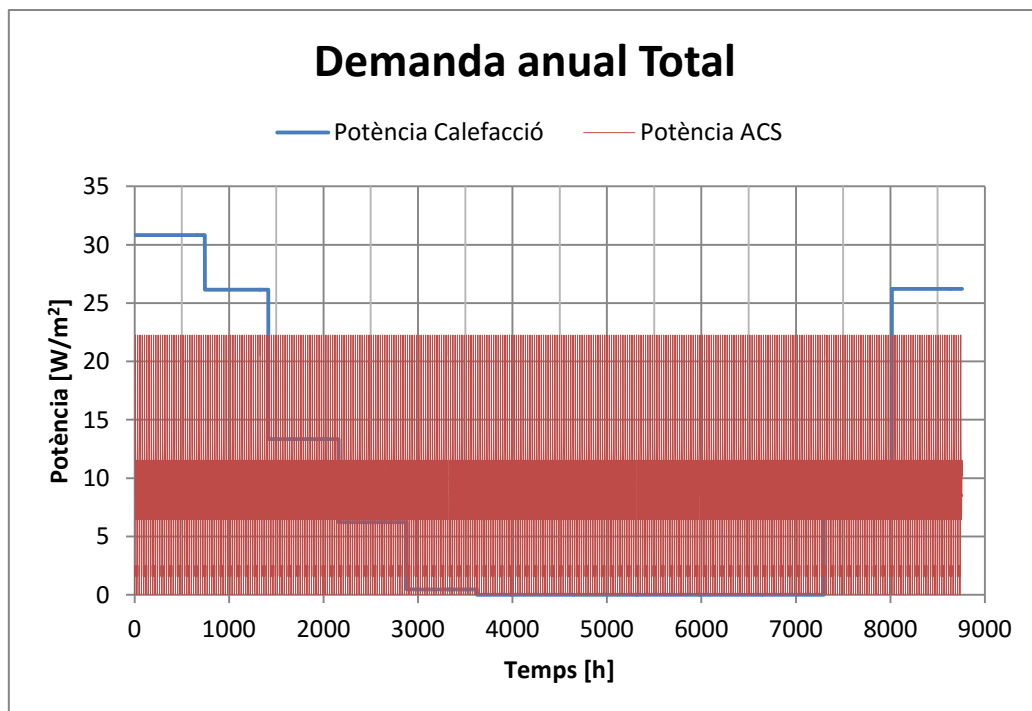


Figura 66: Comparativa de demanda anual de calefacció i ACS.

4.8. Resum de les aplicacions d'estudi

Per qüestions de similitud de la instal·lació i del servei a donar s'ha decidit considerar en l'estudi numèric només les aplicacions de:

- Calefacció urbana de baixa temperatura (BT).
- ACS d'una instal·lació esportiva de piscina coberta.
- ACS d'un habitatge.
- Calefacció individual d'un edifici d'oficines.
- Calefacció i ACS individual d'un hospital.

En la Taula 23 es mostren les temperatures de funcionament de les diferents aplicacions les quals s'han d'aconseguir per tal de donar els serveis respectius. Per tant ens marquen un requeriment a complir. En groc es marquen les aplicacions d'estudi final.

		Temperatures Calefacció [°C]		Temperatures ACS [°C]	
		Impulsió	Retorn	Màxim	Mínim
Calefacció urbana		> 90	< 60	-	-
Calefacció urbana de BT		50,00	25,00	-	-
Piscines cobertes		-	-	30,00	24,00
Calefacció i ACS individual habitatge	Sota Coberta	80,00	60,00	70*	50,00
	Entre plantes	80,00	60,00	70*	50,00
Calefacció individual oficines		80,00	60,00	-	-
Calefacció i ACS individual hospitals		80,00	60,00	70*	50,00
Calefacció i ACS individual hotels		80,00	60,00	70*	50,00

Taula 23: Comparació de les temperatures de treball de les diferents aplicacions d'estudi. *Temperatura a la qual s'ha d'arribar esporàdicament per tal de combatre el bacteri de la legionel·la.

En la Taula 24 es representen les demandes de calor per m² de les diferents aplicacions, les quals s'han d'intentar assolir per tal de donar el servei de manera completa. En groc es remarquen les aplicacions d'estudi final per les mateixes consideracions anteriors.

		Potència Calefacció [W/m²]		Potència ACS [W/m²]		Energia anual Calefacció [kWh/m²]	Energia anual ACS [kWh/m²]
		Màxim	Mitjana	Màxim	Mitjana	Total	Total
Calefacció urbana		-	-	-	-	-	-
Calefacció urbana de BT		3,52	0,60	-	-	5,29	-
Piscines cobertes		-	-	118,52	118,52	-	1038,22
Calefacció i ACS individual habitatge	Sota Coberta	45,64	3,36	7,53	2,01	29,43	17,61
	Entre plantes	55,44	3,05	7,53	2,01	26,71	17,61
Calefacció individual oficines		48,71	5,46	-	-	47,80	-
Calefacció i ACS individual hospitals		31,85	7,36	9,48	3,08	64,48	27,02
Calefacció i ACS individual hotels		30,83	9,41	22,26	8,70	82,39	76,23

Taula 24: Comparació de les demandes de calor de les diferents aplicacions d'estudi.

De la Figura 67 a la Figura 70 es representen els perfils de demanda anual per m² de les aplicacions que seran d'estudi i l'energia necessària anual.

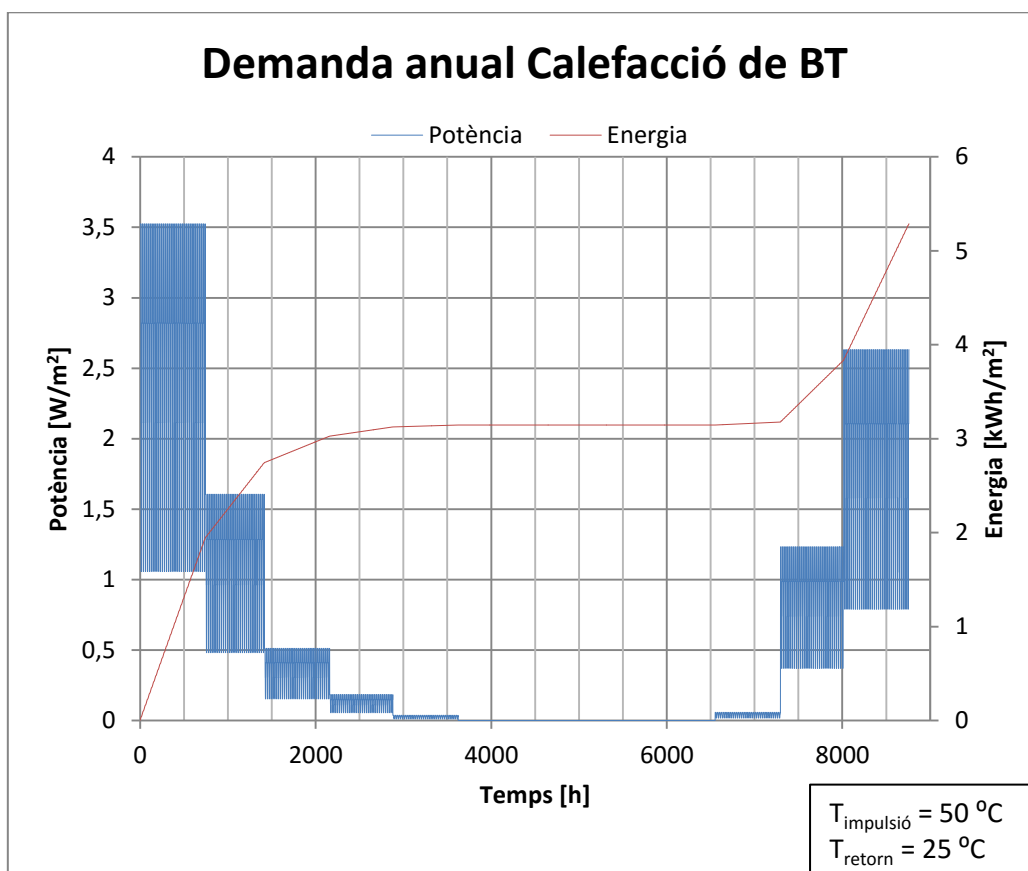


Figura 67: Perfil de demanda de calefacció de baixa temperatura.

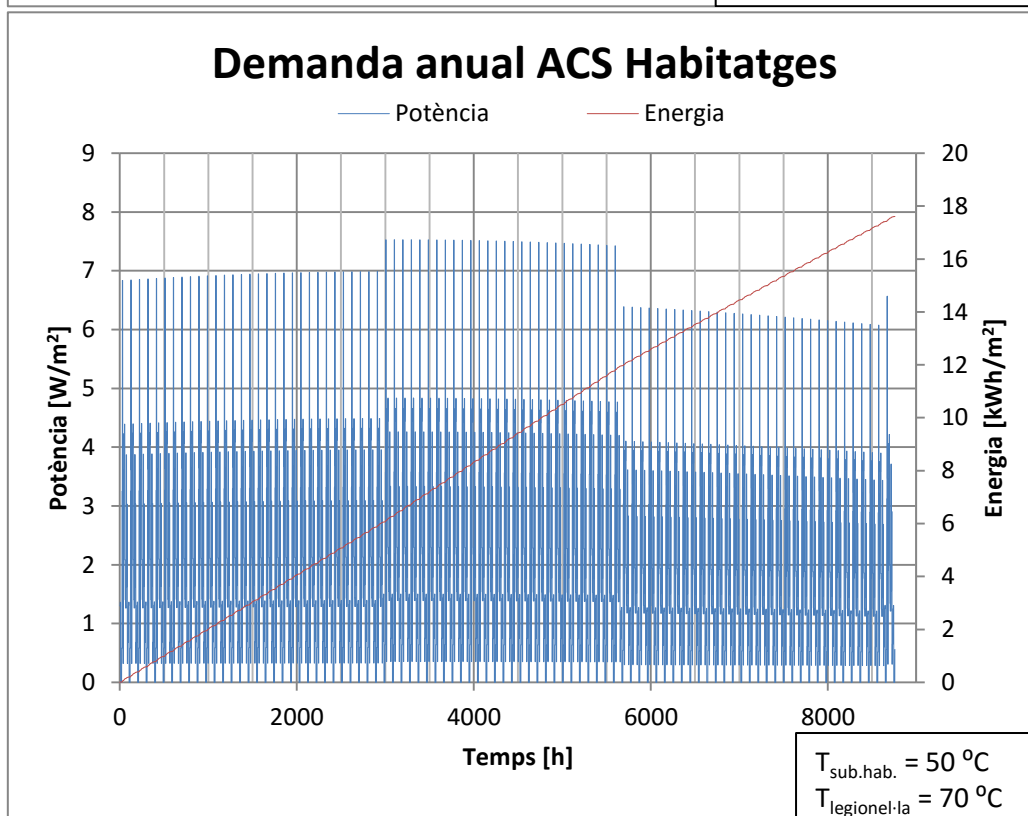
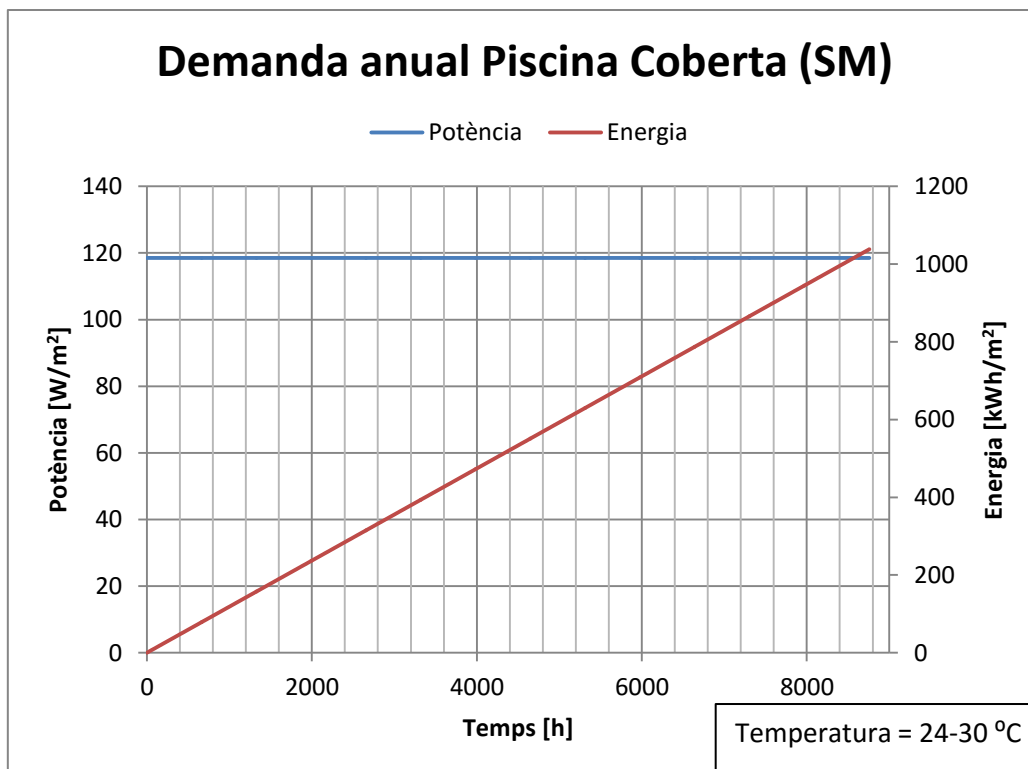


Figura 68: a) Perfil de demanda de ACS de l'aigua del vas d'una piscina coberta. B) Perfil de demanda anual d'ACS d'un habitatge.

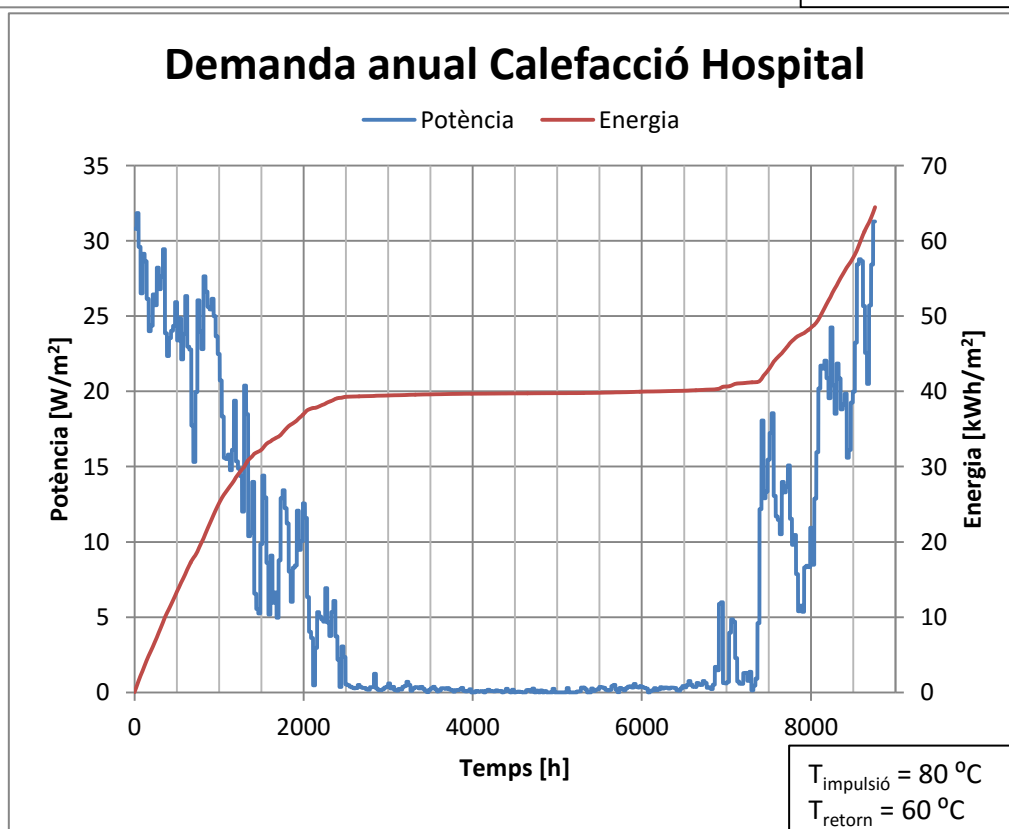
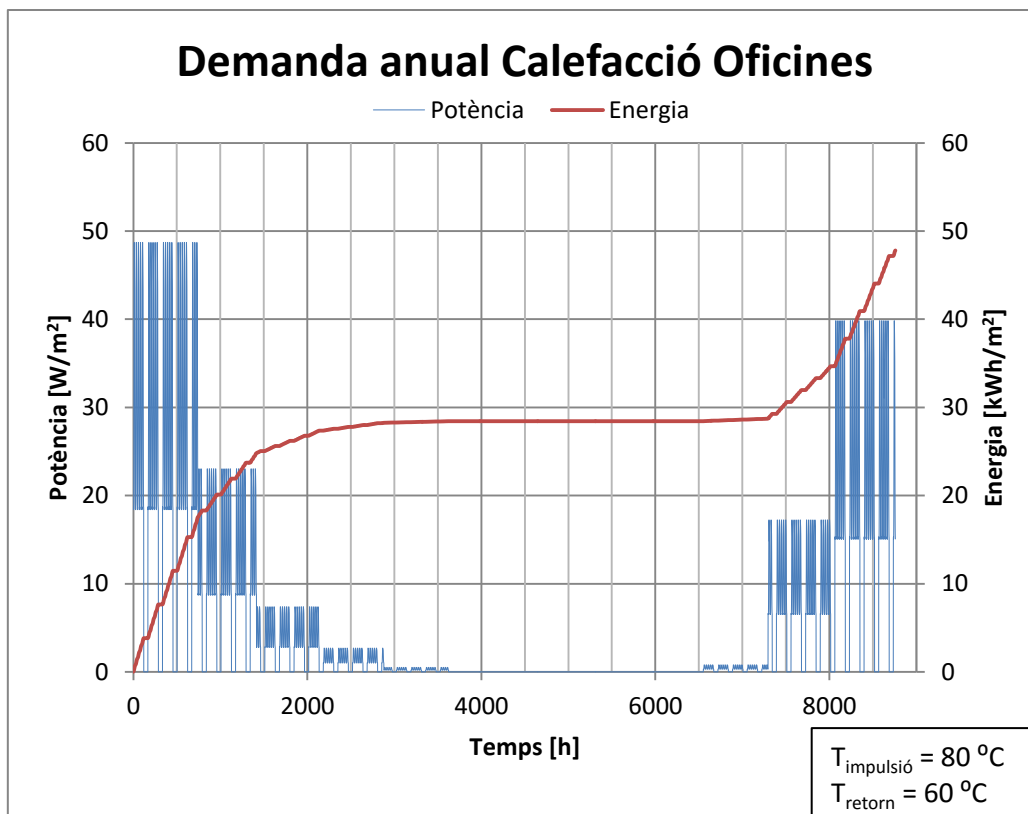


Figura 69: a) Demanda anual de calefacció d'un edifici d'oficines. b) Demanda anual de calefacció d'un hospital.

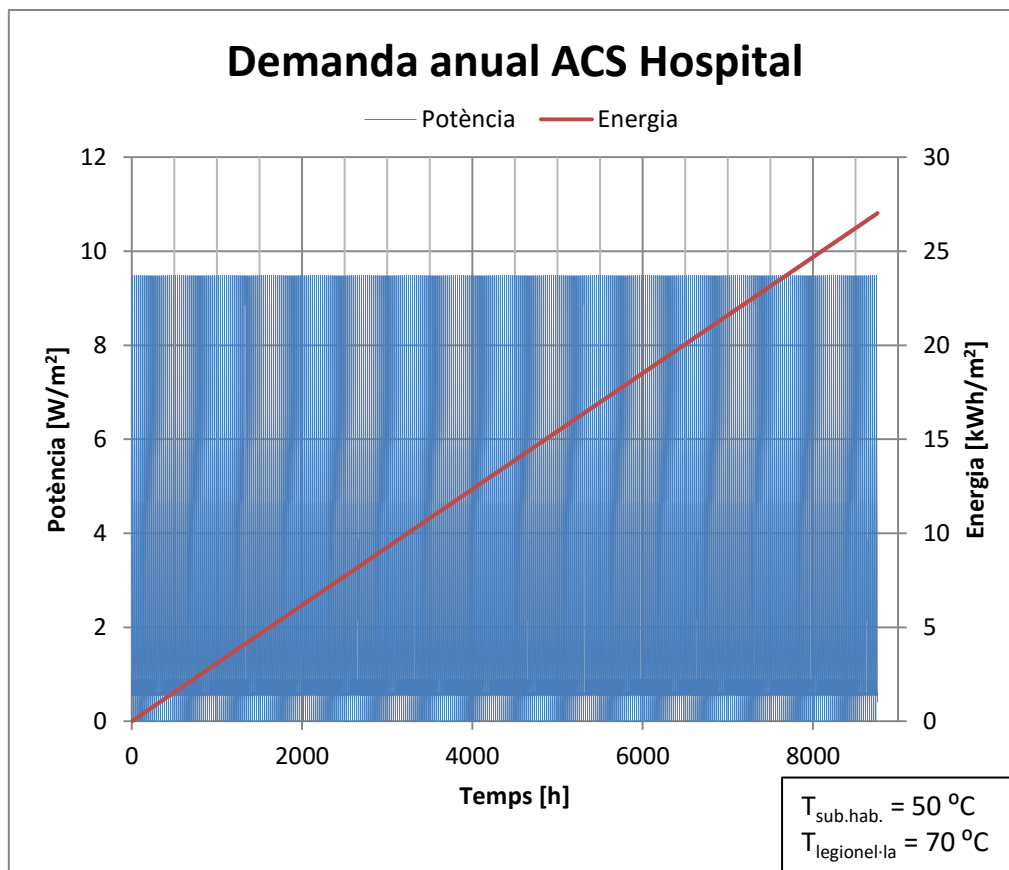


Figura 70: Demanda anual d'ACS d'un hospital.

5. Comparativa entre l'oferta del CPD i la demanda de les aplicacions

Com es pot observar en l'apartat 3.3.5 Comparació de resultats (Figura 30 i Figura 33), en totes les configuracions, les sortides tant de calor absorbida (Q líquid) i temperatures de sortida de l'aigua són relativament constants. D'altra banda en la majoria d'aplicacions d'estudi, podem veure que hi ha una gran fluctuació en la demanda tèrmica segons l'estació: l'hivern (gener, febrer, i desembre) la demanda de calor per a calefacció és màxima, els mesos de primavera i tardor (març, abril, maig, setembre, octubre i novembre) la demanda tèrmica és moderada i els mesos d'estiu (juny, juliol i agost) la demanda de calor és nul·la o quasi nul·la.

En el cas concret de l'ACS observem que el consum és relativament constant durant l'any, fins i tot incrementa una mica en els mesos més càlids. En aquest cas la fluctuació és dóna més dintre d'un mateix dia, on hi ha hores on el consum és màxim i d'altres on és nul. Per tant hi haurà moments on l'oferta d'energia tèrmica per part del CPD serà superior a la demanda i en alguns altres on no s'arribarà a la demanda.

En la Figura 71 es representa la demanda de calefacció per un hospital diferenciada segons les estacions. On s'hi observa les fluctuacions esmentades anteriorment. En la Figura 72 es representa la demanda d'ACS d'un habitatge durant un any i en la Figura 73 es representa la demanda d'ACS d'un habitatge durant una setmana típica de gener on s'hi observen les fluctuacions diàries.

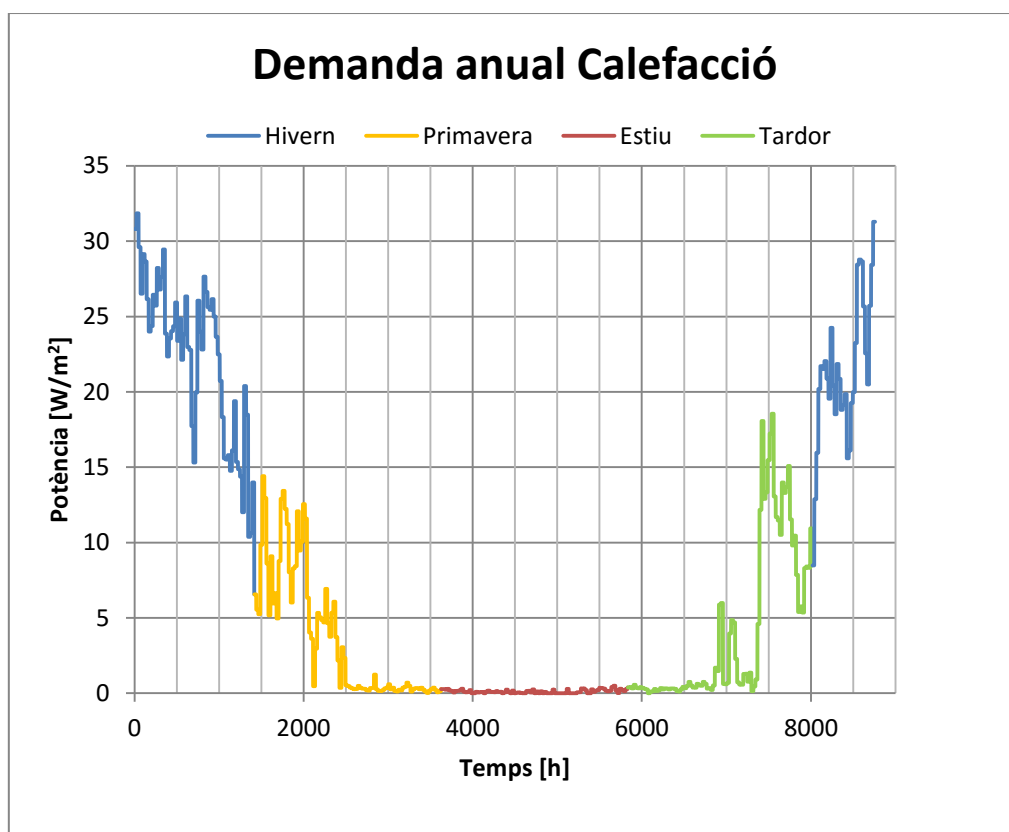


Figura 71: Demanda tèrmica de calefacció d'un hospital diferenciada per estacions climàtiques de l'any. On si pot observar la fluctuació de la demanda segons l'estació.

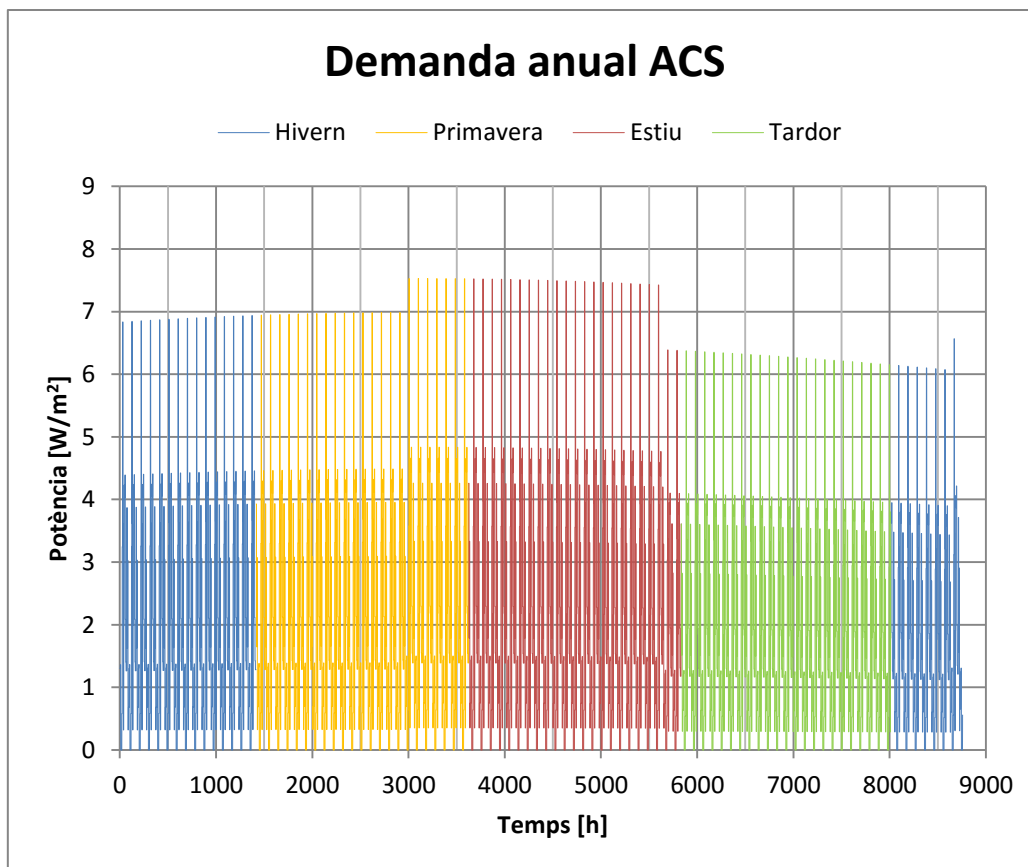


Figura 72: Demanda tèrmica d'ACS d'un habitatge diferenciada per estacions climàtiques de l'any. On s'observa que la fluctuació de la demanda segons l'estació és mínima.

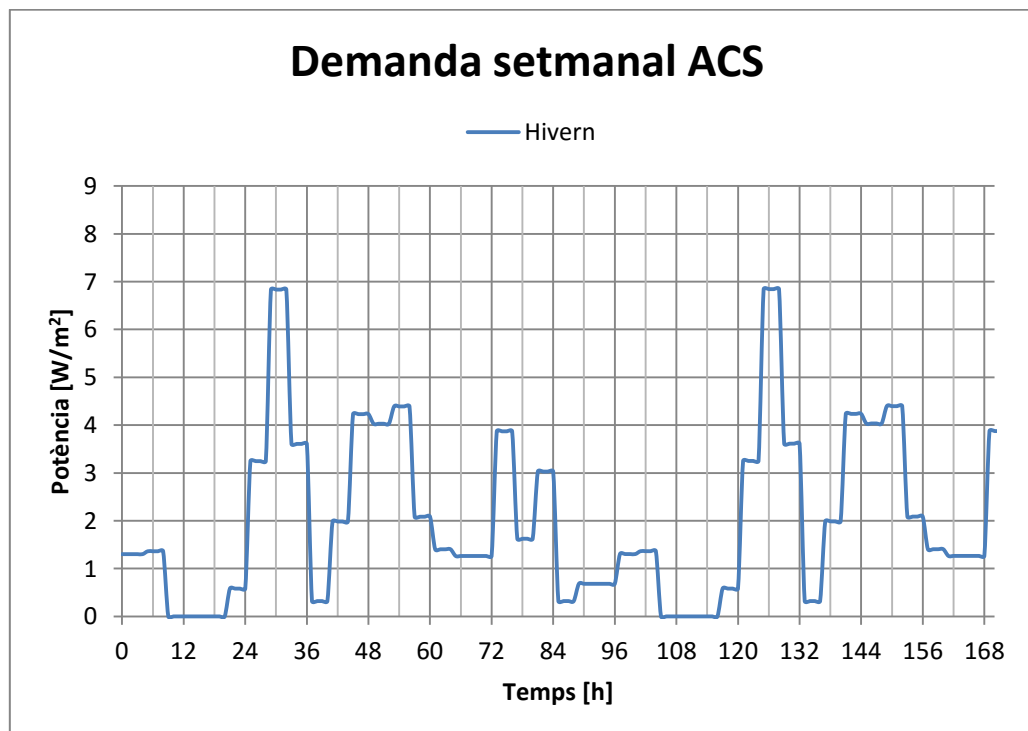


Figura 73: Demanda tèrmica d'ACS d'un habitatge, d'una setmana típica d'hivern. On s'observa la fluctuació de la demanda segons l'hora del dia i el dia de la setmana.

Observant aquestes tendències podem dir que hi haurà moments de l'any que segurament el CPD no cobreix la demanda total (hivern en el cas de la calefacció i algunes hores del dia en el cas de l'ACS). Ara bé tindrem altres moments de l'any (l'estiu en el cas de la calefacció i algunes hores del dia en el cas de l'ACS) on el que generem no pot ser consumit. Per tant, la calor i energia que en algun moment no pugui ser consumida podria ser emmagatzemada i intentar-la aportar en moments quan no s'arribi a la demanda.

A la Taula 25 es mostra la comparativa entre les temperatures que aporta el CPD i els requisits de la instal·lació i/o aplicació. En aquesta taula es veuen les temperatures que ens ofereix el CPD segons els diferents escenaris explicats anteriorment, i les temperatures de funcionament de les diferents aplicacions d'estudi.

	T [°C] CPD			T [°C] Aplicacions			T [°C] Aplicacions	
	Màx.	Mín.		Impuls	Retorn		Màx.	Mín.
Esc. 1	27,92	26,84	Calefacció urbana de BT	50	25	ACS Piscines cobertes	30	24
Esc. 2	35,17	33,06	Calefacció individual	80	60	ACS individual	70*	50
Esc. 3	41,63	38,60						
Esc. 4	46,97	43,19						

Taula 25: Comparativa de les temperatures aportades pel CPD i les requerides segons l'aplicació. *Temperatura a la que s'ha d'arribar en alguns determinats moments per tal de combatre el bacteri de la legionel·la, tot i sent la temperatura de subministrament habitual la de 50 °C. Esc. 1: Configuració tots els servidors en paral·lel. Esc. 2: Configuració de grups de dos servidors en sèrie. Esc. 3: Configuració de grups de tres servidors en sèrie. Esc. 4: Configuració de grups de quatre servidors en sèrie.

Es pot concloure que en la majoria d'aplicacions serà necessària la configuració de l'Escenari 4 (4 servidors en sèrie) ja que les temperatures de treball estan al voltant dels 50 °C. Recordant que la temperatura de subministrament habitual per ACS és de 50 °C. Exceptuant el cas de la calefacció individual on la temperatura d'impuls és de 80 °C. Per tant, serà necessària la instal·lació d'un equip de suport (bomba de calor) per tal d'aportar la temperatura necessària per augmentar des dels 47 fins als 80 °C.

D'altra banda es podrien utilitzar altres configuracions com les de l'Escenari 1 per donar servei a l'aplicació de l'ACS en piscines cobertes ja que s'arriba dintre dels límits de funcionament.

Per tal d'estudiar un cas real s'ha optat per considerar que tenim un CPD de potència IT de 1000 kW. El que resulta 50 vegades més gran que l'estudiat fins ara. Per tant s'hauran de multiplicar tots els resultats de potència per 50. Les temperatures ens queden igual. Considerant que únicament utilitzarem les configuracions de l'escenari 1 i escenari 4. En la Taula 26 s'observa les dades tèrmiques de l'aigua de sortida del CPD segons el dimensionament del CPD fet anteriorment i els escenaris d'estudi. En la Figura 74 es representa la potència (calor absorbida) pel CPD real de 1000 kW de potència IT.

	T [°C]		Q Líquid [kW]	
	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.
Esc. 1	27,92	26,84	579,52	508,03
Esc. 4	46,97	43,19	469,65	402,07

Taula 26: Temperatures i calor absorbida (Q líquid) dels escenaris d'estudi.

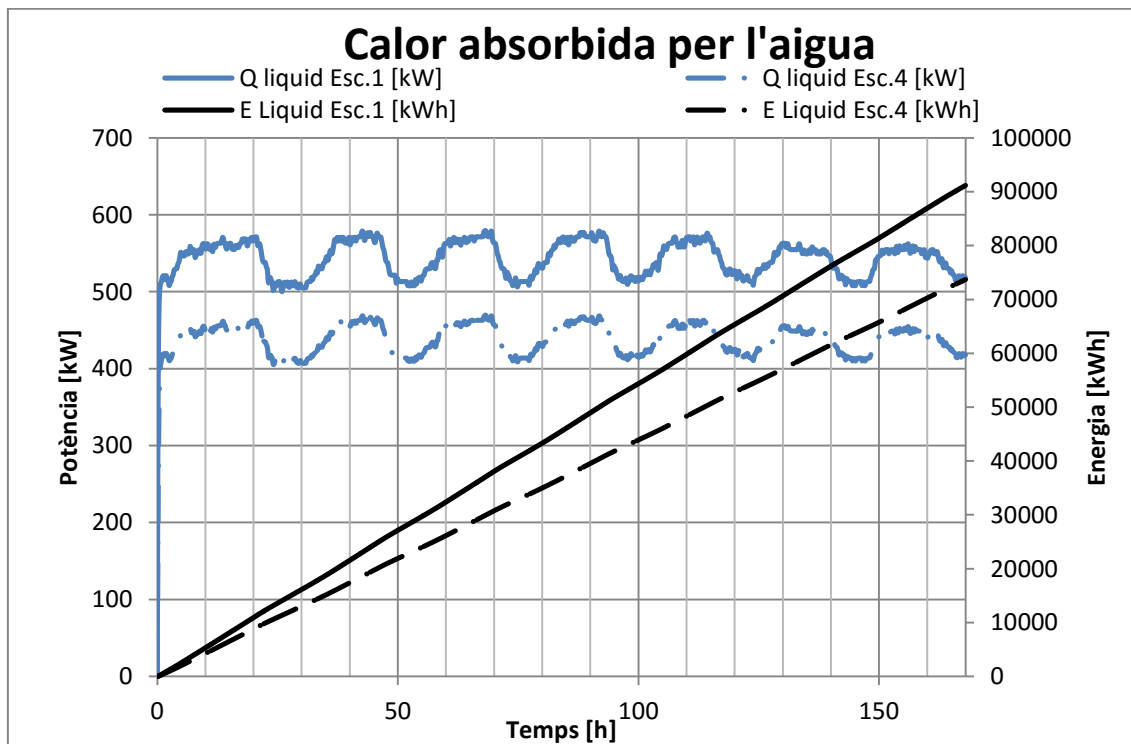


Figura 74: Calor absorbida pels escenaris d'estudi dimensionats en 1000 kW de potència IT, durant una setmana.

El procediment seguit en totes les aplicacions per realitzar l'estudi de potència s'explica a continuació. En tots els casos l'estudi s'ha fet mes a mes per a cada aplicació i s'ha considerat que el CPD ens proporciona de mitjana 438,63 kW sempre. En tots els estudis mes a mes les tres variables que s'estudien són:

- Demanda → Calor necessària per cada hora pels usuaris per satisfer el servei.
- Produït pel CPD → Calor que ens produeix el CPD de manera constant al llarg del temps cada hora (438,63 kW).
- Cobert pel CPD → Part de la demanda que podem cobrir amb el CPD, tenint en compte els instants on la demanda és inferior al que produïm i aquesta diferència de calor la podem emmagatzemar per subministrar-la més tard en el moment on la demanda supera el que produïm amb el CPD.

L'emmagatzematge de calor pel qual s'ha optat és un emmagatzematge de curt termini, és a dir, la calor emmagatzemada ha de ser consumida en un període relativament immediat. No s'ha considerat un emmagatzematge estacional per qüestions de la complexitat del sistema i de l'elevat cost que suposaria a l'utilitzar materials termoquímics. Per tal de subministrar la calor necessària en els moments on la demanda sigui tan gran que no podem cobrir-la ni amb el que produeix el CPD ni amb el que tenim emmagatzemat s'ha optat per tenir un equip auxiliar convencional per aportar aquesta calor, el qual podria ser una caldera a gas. Per tal de

saber quin equip auxiliar s'ha d'instal·lar s'ha estudiat quina és la potència màxima que haurà de subministrar aquest. Sent la potència màxima la diferència màxima entre la demanda i el que ens cobreix el CPD (Potència màxima de l'equip auxiliar).

Per tal de calcular l'estalvi energètic que obtenim es fa a partir de l'equació Eq. (12) .

$$Estalvi[\%] = \frac{Cobert\ pel\ CPD}{Demanda} \cdot 100 \quad Eq. (12)$$

On:

- Cobert pel CPD: Total de potència que cobrim amb el CPD. Ja sigui directament i/o amb la calor emmagatzemada.
- Demanda: Demanda total mensual.

5.1. Calefacció de baixa temperatura

5.1.1. Temperatura de servei

Com s'ha vist anteriorment els requisits mínims a nivell de temperatura per donar servei de calefacció de BT és enviar aigua a l'usuari a una temperatura de 50 °C. Per tant la millor configuració serà la de l'escenari 4 (4 servidors en sèrie) que ens dóna una temperatura de servei màxima de 46,97 °C. Observem que no s'arriba a la temperatura de servei, per tant necessitarem d'un equip auxiliar (bomba de calor) per tal d'arribar-hi.

Dimensionament de la bomba de calor:

	T [°C]	
	Màx.	Mín.
Temperatura CPD	46,97	43,19

Taula 27: Temperatures que ens proporciona el CPD en la configuració de 4 servidors en sèrie (escenari 4).

Per tal de dimensionar la bomba s'utilitzarà la temperatura mínima. Sabem que el cabal que passa per cada branca del CPD és de 0,5 l/s. Tenint un CPD de 2000 servidors i sabent que estan en sèrie en grups de 4, per tant tenim 500 branques. Així doncs el cabal total de sortida del CPD és de 250 l/s. Considerant que la densitat de l'aigua és 1 kg/l sabem que el cabal màssic total que ens surt del CPD és de 4,17 kg/s. En la Figura 75 es representa una esquematització de la bomba de calor.

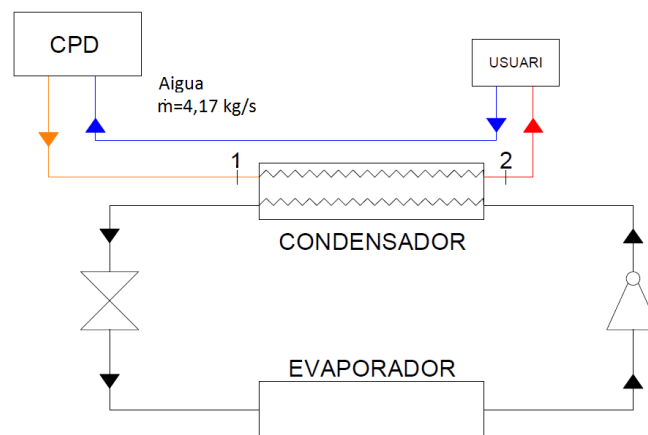


Figura 75: Esquematització del sistema auxiliar (bomba de calor) per augmentar la temperatura de sortida del CPD. On la temperatura en el punt 1 serà de 43,19°C i la del punt 2 ha de ser de 50°C.

Sabent que la C_p de l'aigua és de 4,18 kJ/(K·kg). Una vegada caracteritzat el sistema es pot calcular la potència necessària de la bomba a partir de l'equació Eq. (13).

$$\dot{Q}_{condensador} = \dot{m}_{CPD} \cdot C_{aigua} \cdot (T_2 - T_1) = 4,17 \cdot 4,18 \cdot (50 - 43,19) = 118,66 \text{ kW} \quad \text{Eq. (13)}$$

La bomba de calor necessària ha de poder subministrar 118,66 kW com a mínim per poder subministrar aquest servei.

5.1.2. Potència

Per tal de dimensionar a quants habitatges pot donar servei de calefacció de baixa temperatura el CPD, s'ha de mirar l'energia que subministra el CPD. Procedint de la següent manera:

Sabem que l'energia que subministra el CPD durant una setmana és de 73697,01 kWh. Per tant l'energia que subministra durant tot l'any es pot calcular segons l'equació Eq. (14). On el quocient entre 365 i 7 són les setmanes que té un any.

$$Energia_{anual}[kWh] = Energia_{setmanal} \cdot \frac{365}{7} \quad \text{Eq. (14)}$$

En el cas de calefacció descartem l'energia que es genera durant els mesos que no hi ha demanda (juny, juliol, agost i setembre), com es pot veure en la Figura 37. Ja que no és viable emmagatzemar tanta energia durant tant temps. Per tant l'energia que realment es té anualment es calcula a partir de l'equació Eq. (15). On els quocients són les setmanes que tenen els mesos menyspreats.

$$Energia_{anual_{CPD}}[kWh] = Energia_{anual} - 2 \cdot \left(\frac{30}{7} - \frac{31}{7} \right) = 2558339,13 \text{ kWh} \quad \text{Eq. (15)}$$

Sabent que la superfície mitjana d'un habitatge a l'estat espanyol es de 90m² i que la demanda anual d'energia és de 5,29 kWh/m² podem extreure el nº d'edificis als quals podem donar servei segons l'equació Eq. (16).

$$n^{\circ} \text{ d'edificis} = \frac{Energia_{anual_{CPD}}}{Energia_{demanda_{anual}} \cdot Superfície} = \frac{2558339,13}{5,29 \cdot 90} \approx 5376 \text{ edifici} \quad \text{Eq. (16)}$$

Una vegada es té els edificis al quals es pot donar servei tenim el perfil real de demanda segons la superfície mitjana i el nº d'edificis, la qual es veu representada la seva "duration curve"⁷ en la Figura 76.

⁷ Representació gràfica de la potència, ordenada de major a menor, en funció del temps.

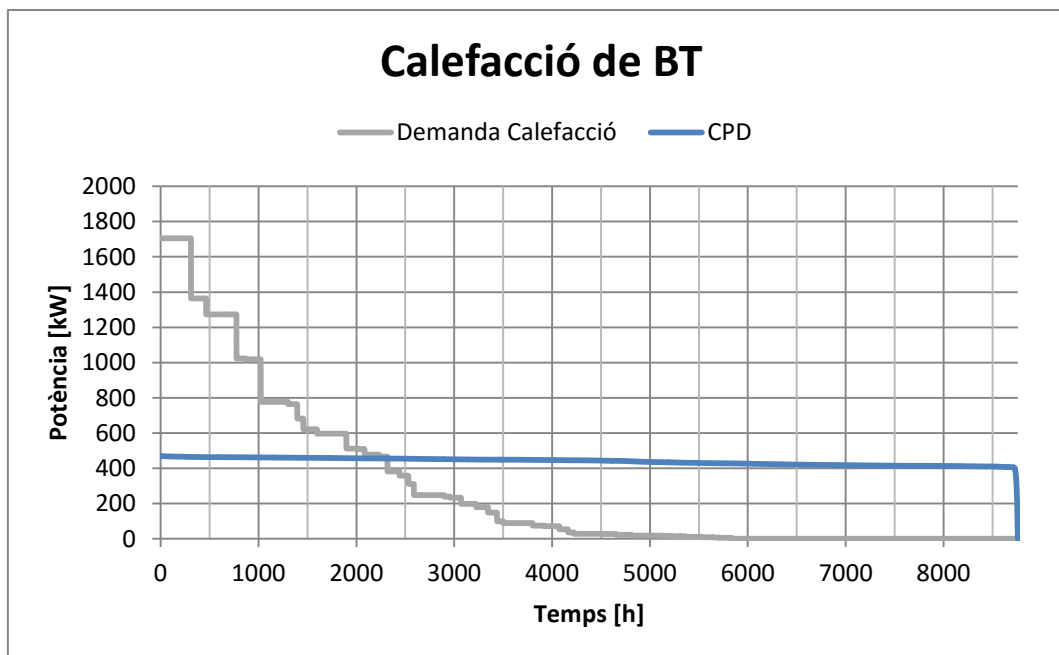


Figura 76: "Duration curve" de la demanda de calefacció de BT. I la representació del que ens proporciona el CPD.

A partir d'aquest perfil, veiem que hi ha instants on la demanda és molt superior al que ens proporciona el CPD i viceversa. Per tal de saber ens quins moments podem emmagatzemar calor i reaprofitar-la per subministrar-la quan la demanda és major, s'ha fet un estudi mes a mes.

En la Figura 77 s'hi representa la demanda del mes gener (Demanda), el que proporciona el CPD de manera constant (Produït pel CPD) i la part de demanda coberta pel CPD (Cobert pel CPD). En aquest cas el que produeix el CPD coincideix amb la part de demanda coberta. On es veu que en cap moment la demanda és inferior al que ens dóna el CPD. Per tant el que no ens cobreix el CPD haurà de ser cobert per l'equip auxiliar (caldera).

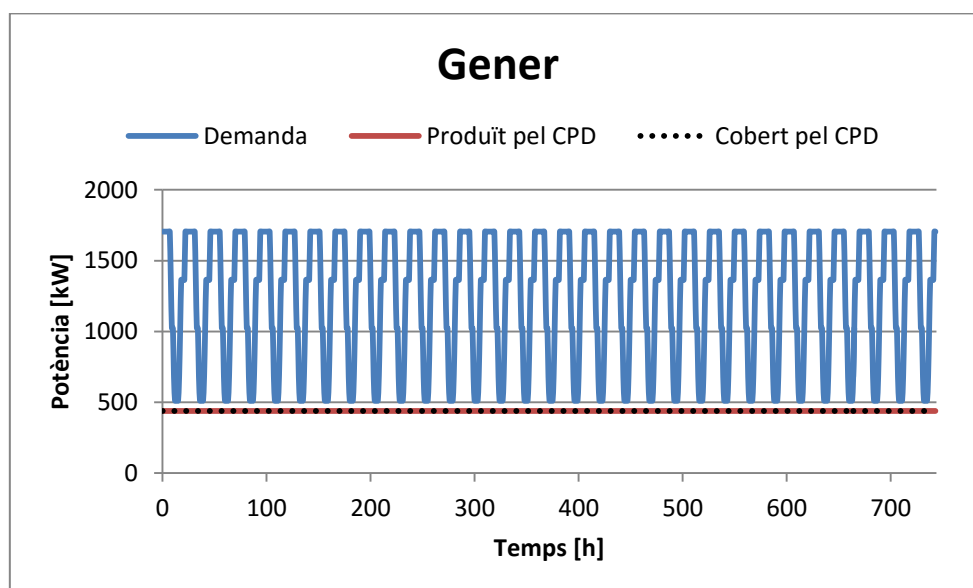


Figura 77: Demanda de calor del mes de gener i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 78 es representa amb quin % de les diferents fonts es cobreix la demanda. Es pot observar que majoritàriament cobrim la demanda amb l'equip auxiliar (65,32%) ja que no produïm suficient calor per aquest escenari. La resta de la demanda la cobrim amb el que produïm directament del CPD (34,68%) ja que en aquest cas en cap moment podem emmagatzemar calor.

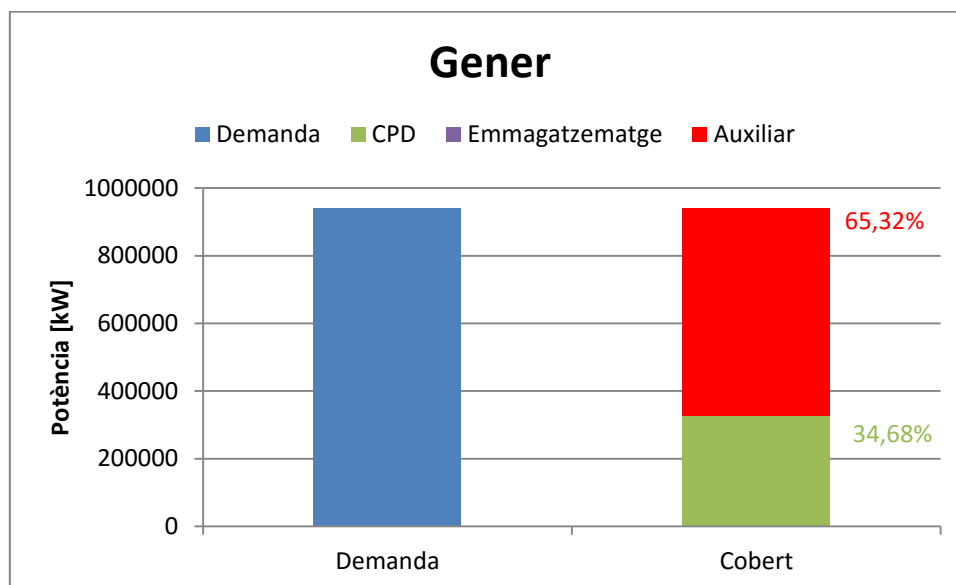


Figura 78: Comparació entre la demanda total del mes de gener i com es cobreix aquesta demanda.

En la Taula 28 s'hi exposen les dades del mes de gener, el que s'estalvia cobrint una part de la demanda amb el CPD i la màxima potència que haurà de subministrar la caldera en un moment puntual.

Demanda	940892,73 kW
CPD	326340,11 kW
Calor reaprofitada	0 kW
Equip Auxiliar	614552,63 kW
Estalvi	34,68 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	1266,50 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 28: Dades resum del mes de gener.

En la Figura 79 observem la demanda del mes de febrer, el que en proporciona el CPD de manera constant (produït pel CPD) i la part de la demanda que ens cobreix CPD (Cobert pel CPD). En aquest cas observem que hi ha moments que la demanda és inferior al que ens produeix el CPD (produït pel CPD) per tant aquesta calor la podem emmagatzemar i utilitzar posteriorment quan la demanda sigui superior com representa el cobert pel CPD on fluctua quan en principi el CPD produeix a manera constant.

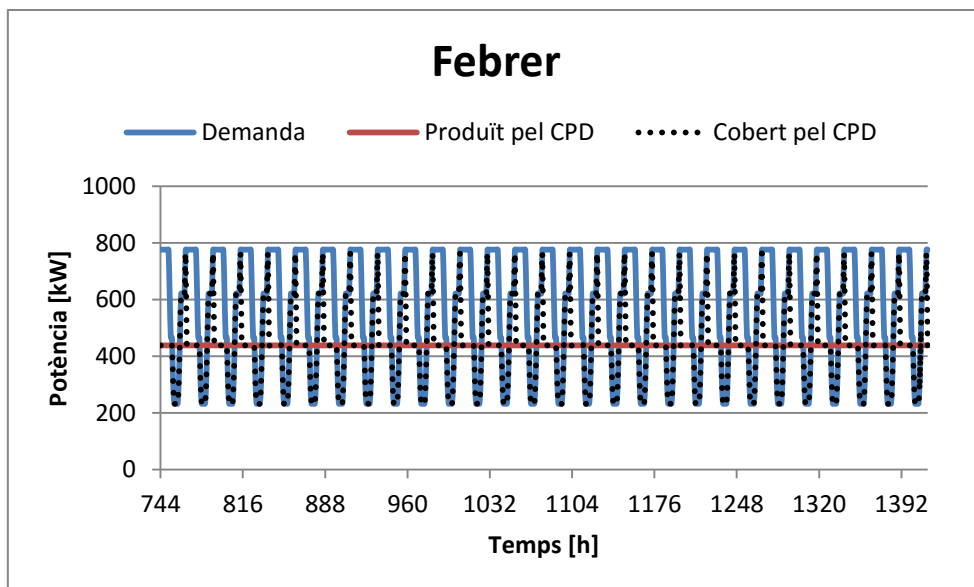


Figura 79: Demanda de calor del mes de febrer i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 80 es representa la demanda total en una columna i en l'altra s'observa en quin % es cobreix aquesta demanda segons les diferents fonts. Es pot observar que més de la meitat de la demanda la podem cobrir amb el que ens produeix el CPD (68,35%), aproximadament un quart de la demanda es cobreix amb un equip auxiliar (23,48%) i la resta es cobreix amb la calor emmagatzemada i reaprofitada (7,80%).

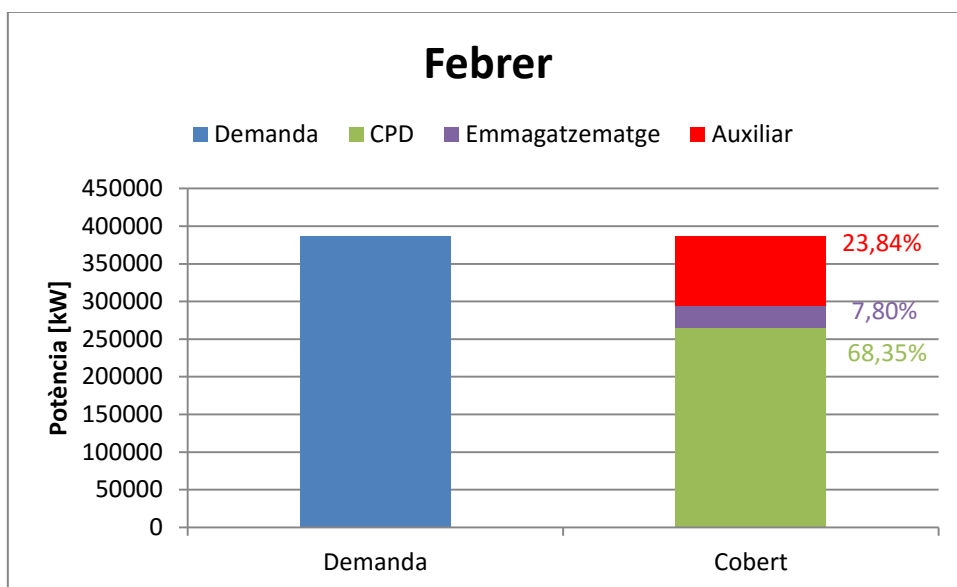


Figura 80: Comparació entre la demanda total del mes de febrer i com es cobreix aquesta demanda.

En la Taula 29 es presenten les dades del mes de febrer. On es té la demanda total, el que cobreix el CPD directament (CPD), el que es cobreix amb la calor emmagatzemada i posteriorment reutilitzada (Calor reaprofitada) i la calor que ha de cobrir l'equip auxiliar (caldera). També es mostra l'estalvi respecte el que es gastaria en un sistema on només hi hagués una caldera i el màxim que hauria de subministrar la caldera en un moment puntual. Com es pot observar en aquest escenari no tenim calor sobrant a final de mes.

Demanda	387048,18 kW
CPD	264557,67 kW
Calor reaprofitada	30201,14 kW
Equip Auxiliar	92289,38 kW
Estalvi	76,16 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	337,95 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 29: Dades resum del mes de febrer.

En la Figura 81 es veuen representats els mesos on hi ha demanda de calefacció, però aquesta no supera mai el que ens proporciona el CPD. Per tant en aquests casos l'estalvi és del 100%, fins i tot tenim una potència que s'ha de dissipar perquè no tenim una font de consum relativament instantània.

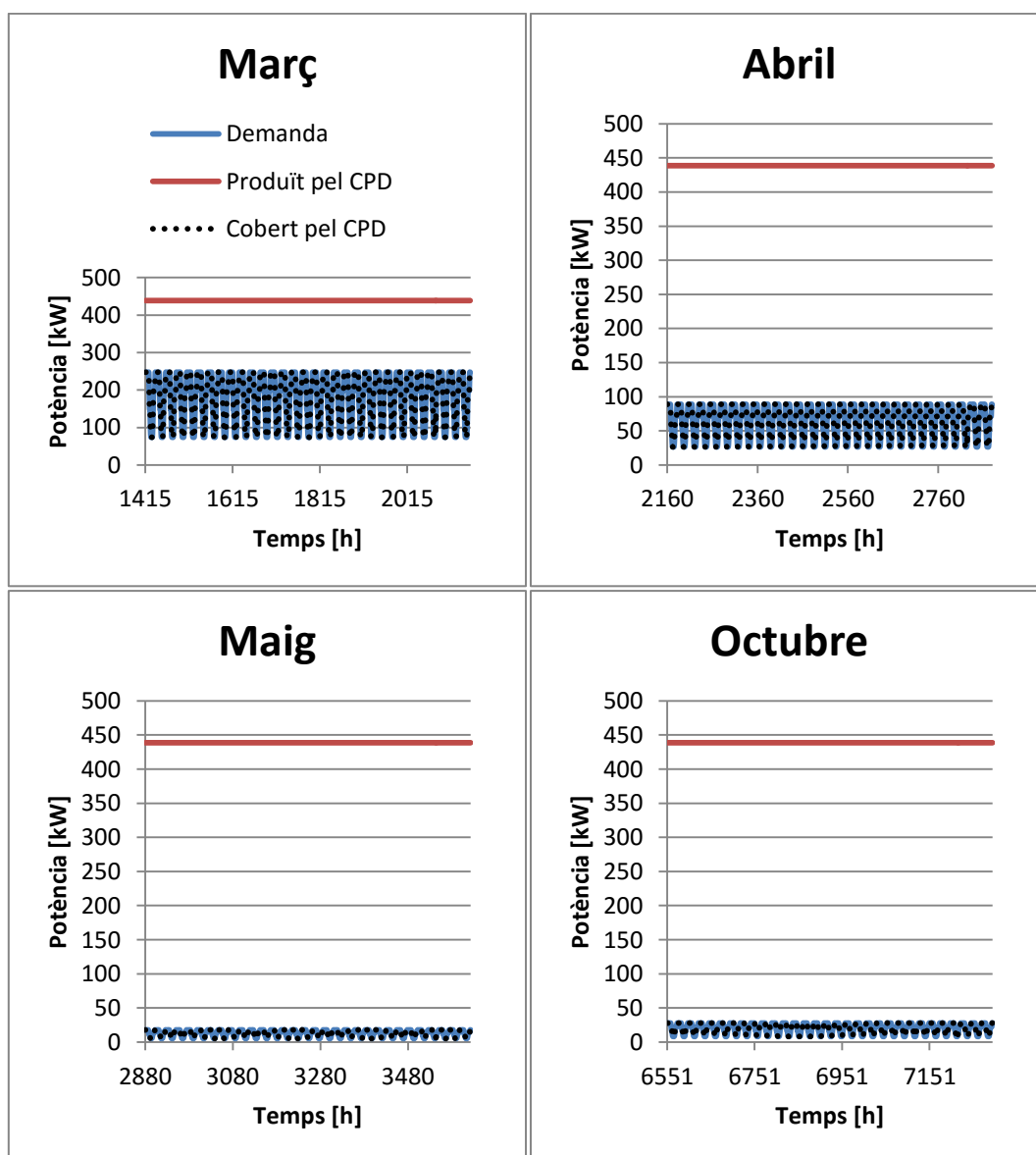


Figura 81: Demanda de calor dels mesos on la demanda en cap moment supera el que proporciona el CPD.

En la Figura 82 s'observa la comparació entre la demanda i com cobrim aquesta demanda, veient que el 100% de la demanda ho podem cobrir únicament amb el que produeix el CPD directament.

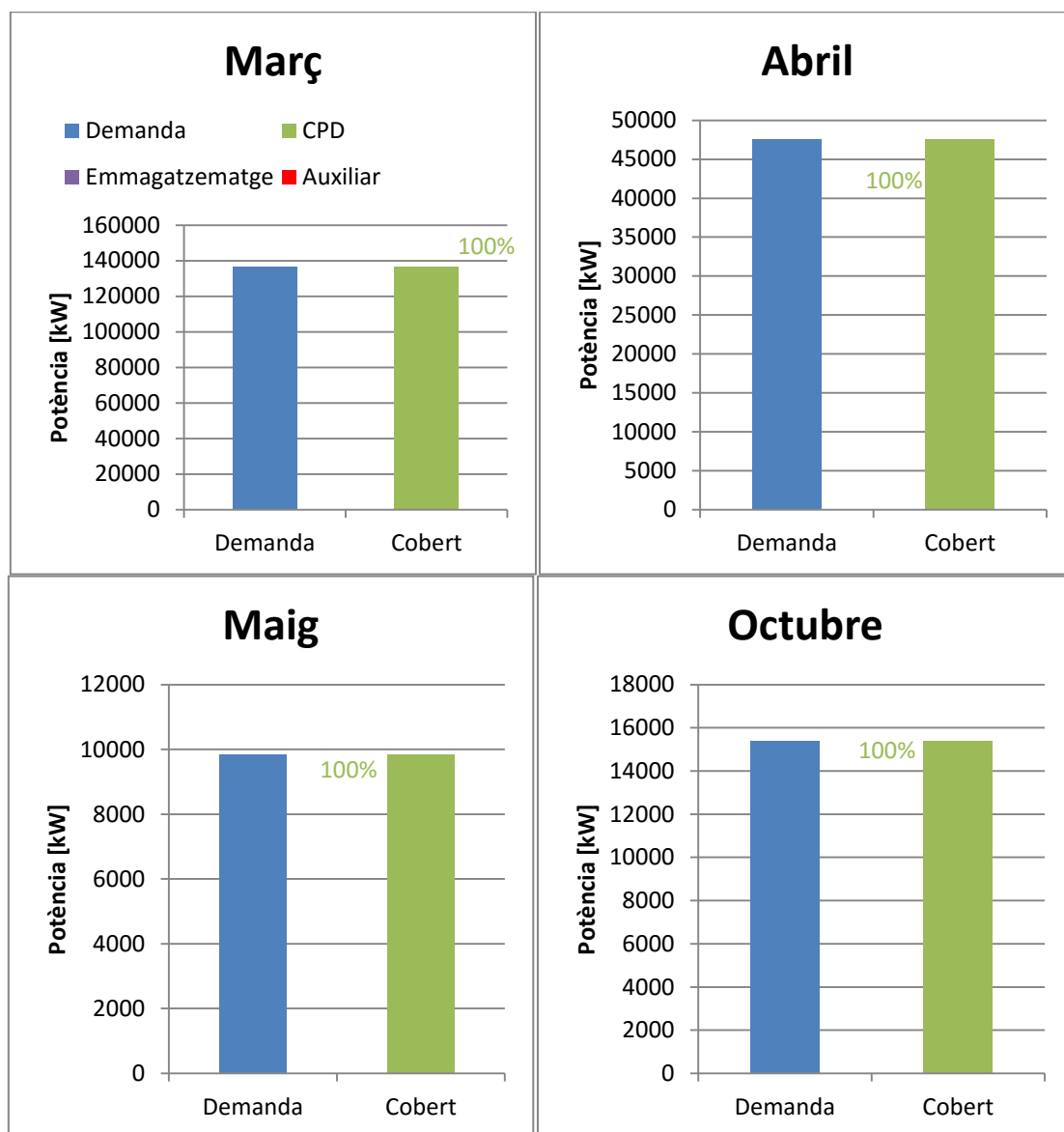


Figura 82: Comparació entre la demanda total dels mesos on la demanda mai és superior al que produeix el CPD i com es cobreix aquesta demanda.

En la Taula 30 s'observa la quantitat de calor que s'ha de dissipar cada mes pels mesos on la demanda sempre és inferior al que produïm.

Mes	Calor a dissipar [kW]
Març	189744,20
Abril	268307,67
Maig	316498,49
Octubre	310944,65

Taula 30: Calor sobrat a dissipar dels mesos on es produeix més que la demanda.

En la Figura 83 observem alguna cosa similar a la Figura 79. Diferenciant-se en que només és al principi on no podem cobrir el 100% de la demanda perquè no tenim calor emmagatzemada

per subministrar. Durant la resta de mes cobrim tota la demanda amb el CPD gràcies a la calor que emmagatzemem quan la demanda és inferior al que produïm. Tenint un sobrant a final de mes de 1212,30 kW el qual es podrà aprofitar el següent mes.

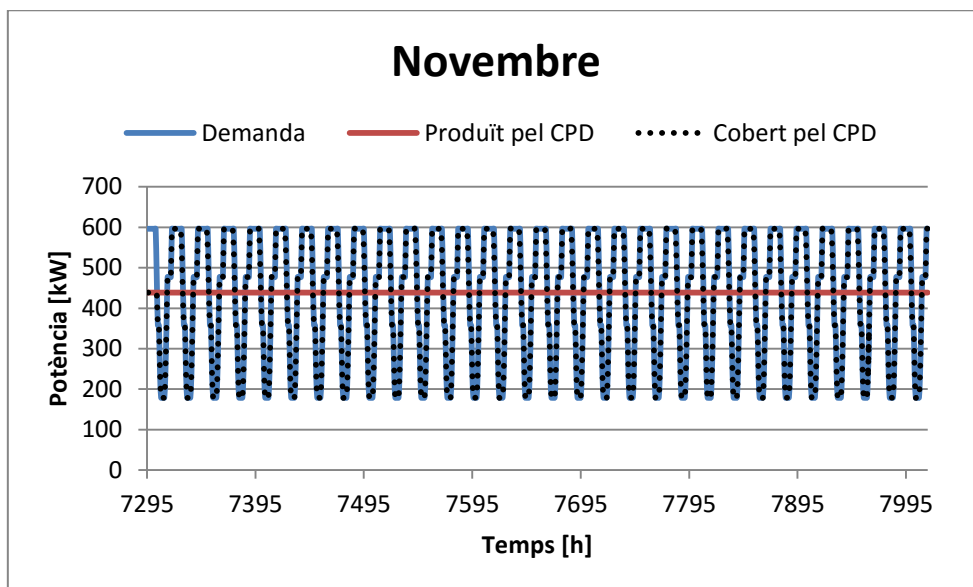


Figura 83: Demanda de calor del mes de novembre i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 84 s'observa la comparació entre la demanda i com cobrim aquesta demanda del mes de novembre. On es veu que la major part ho podem cobrir amb el que produïm directament del CPD (83,33%) una altra part reutilitzant la calor emmagatzemada (15,46%) i una petita part utilitzant l'equip auxiliar (1,21%).

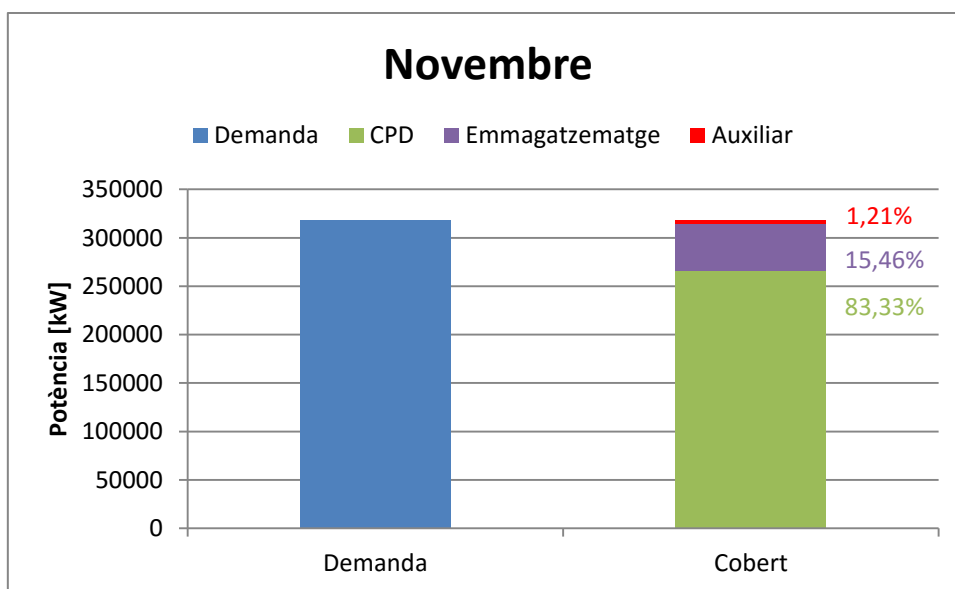


Figura 84: Comparació entre la demanda total del mes de novembre i com es cobreix aquesta demanda.

En la Taula 31 es mostren les dades del mes de novembre. La demanda total, la part de demanda que cobrim directament amb el CPD (CPD), la demanda coberta amb la calor emmagatzemada i reutilitzada (Calor reaprofitada) i la calor total que haurà de subministrar

l'equip auxiliar. També es mostra l'estalvi que aconseguim cobrint una part de la demanda pel CPD i el màxim que ens ha d'aportar la caldera en un moment determinat.

Demanda	318449,91 kW
CPD	265366,82 kW
Calor reaprofitada	49233,88 kW
Equip Auxiliar	3849,21 kW
Estalvi	98,79 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	157,72 kW
Calor sobrant a final de mes	1212,30 kW

Taula 31: Dades resum del mes de novembre.

En la Figura 85 observem la demanda del mes de desembre, el que ens produeix el CPD i la part de la demanda que es pot cobrir amb el CPD. Observem que la major part de la demanda l'hem de cobrir amb un equip auxiliar (caldera). Tot i que hi ha moments que la demanda és inferior al que produïm i podem emmagatzemar aquesta calor per aportar-la posteriorment com a conseqüència aquesta fluctuació en el gràfic per part del cobert pel CPD. S'observa un pic al principi el qual és degut a la calor sobrant de l'anterior mes (novembre) la qual s'aprofita ara.

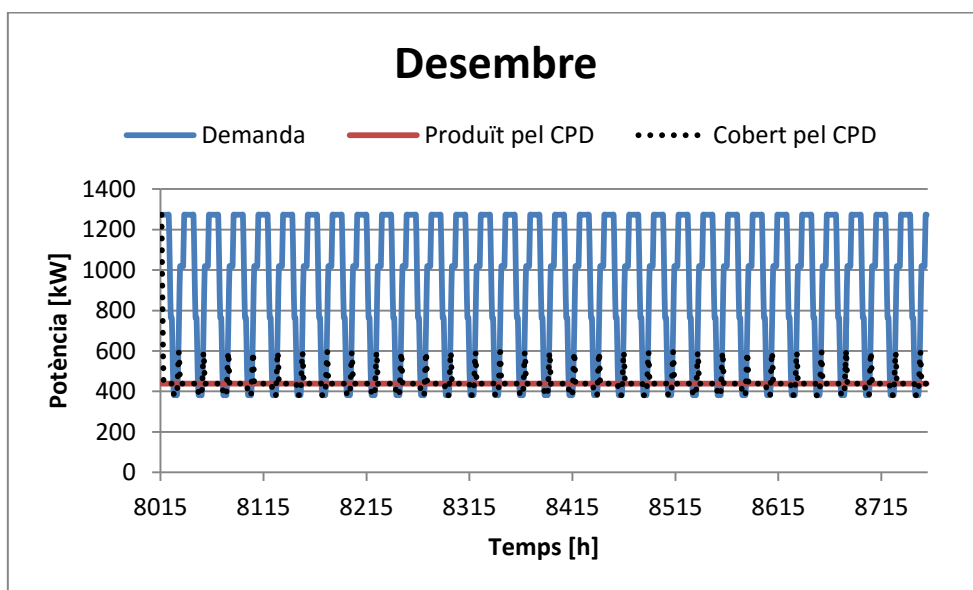


Figura 85: Demanda de calor del mes de desembre i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 86 s'observa la comparació entre la demanda i com cobrim aquesta demanda del mes de novembre. On es veu que es reparteix majoritàriament entre el CPD (45,45%) i l'equip auxiliar (53,38%) tenint una petita part coberta amb la poca calor que es pot emmagatzemar (1,17%).

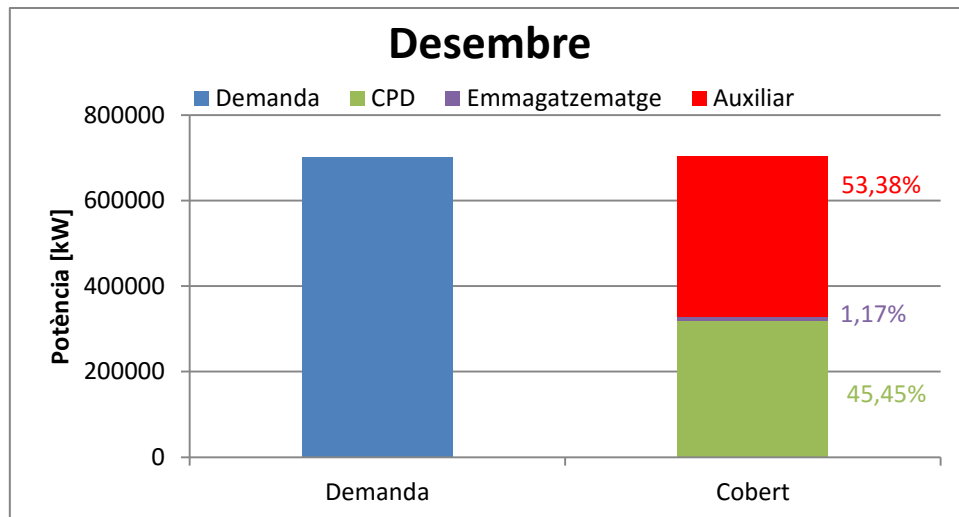


Figura 86: Comparació entre la demanda total del mes de desembre i com es cobreix aquesta demanda.

En la Taula 31 Taula 32 es mostren les dades del mes de desembre i l'estalvi que aconseguim cobrint una part de la demanda pel CPD i el màxim que ens ha d'aportar la caldera en un moment determinat. En aquest cas no hi ha calor sobrant a final de mes.

Demanda	702604,85 kW
CPD	319316,71 kW
Calor reaprofitada	8235,70 kW
Equip Auxiliar	375052,44 kW
Estalvi	46,62 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	834,67 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 32: Dades resum del mes de desembre.

La Taula 33 és una taula resum on es mostren les dades anuals detallades mes a mes. Les dades que es presenten són: la demanda total, la part de la demanda coberta pel CPD on s'agrupa la part produïda pel propi CPD i la part emmagatzemada i la taula també inclou la part coberta amb l'equip auxiliar. A més a més s'afegeix l'estalvi aconseguit, la calor sobrant a final de mes i la potència màxima que ha de subministrar l'equip auxiliar cada mes, sent la major la del mes de gener (1266,50 kW). Per tant l'equip auxiliar que s'haurà d'instal·lar ha de satisfer com a mínim aquesta potència.

Mes	Demanda [kW]	CPD [kW]	Equip auxiliar [kW]	Estalvi [%]	Calor sobrant a final de mes [kW]	Potència màxima caldera [kW]
Gener	940892,73	326340,11	614552,63	34,68	-	1266,50
Febrer	387048,18	294758,81	92289,38	76,16	-	337,95
Març	136565,91	136565,91	-	100	189774,20	-
Abril	47505,34	47505,34	-	100	268307,67	-
Maig	9841,61	9841,61	-	100	316498,49	-
Octubre	15395,46	15395,46	-	100	310944,65	-
Novembre	318449,91	314600,70	3849,21	98,79	1212,30	157,72
Desembre	702604,85	327552,41	375052,44	46,62	-	834,67

Taula 33: Estalvis i potències màximes dels mesos on hi ha demanda

5.2. Piscines cobertes

5.2.1. Temperatura de servei

Els requisits mínims de temperatura per donar servei en piscines cobertes és enviar aigua a l'usuari a una temperatura entre 30 °C-24 °C. Per tant la millor configuració serà la de l'escenari 1 (tots els servidors en paral·lel) que ens dóna una temperatura de servei entre 27,92 °C-26,84 °C. Tant en el marge inferior com en el marge superior del que ens proporciona el CPD estem dintre de la temperatura de servei. Per tant no farà falta cap equip auxiliar per augmentar la temperatura de servei.

5.2.2. Potència

Per tal de dimensionar a quantes piscines de mesura estàndard (25 m x 50 m) es pot donar servei a partir del que ens produeix el CPD es procedeix de manera similar al punt 5.1.2. Ara bé, en aquest cas la demanda és durant tot l'any i la configuració del CPD és la de l'escenari 1, per tant la demanda calculada és la de l'equació Eq. (17).

$$Energia_{anual}[kWh] = Energia_{setmanal} \cdot \frac{365}{7} = 4755168,71 kWh = Energia_{anual_{CPD}} \quad \text{Eq. (17)}$$

A partir d'aquí es procedeix de la mateixa manera que en l'anterior punt citat. Per tant aplicant l'equació Eq. (16) obtenim el nº de piscines a les quals podem donar servei que és 3. Una vegada tenim el nº de piscines a les quals podem donar servei i la superfície mitjana d'una piscina convencional (25x50=1250 m²) podem obtenir el perfil real de demanda per un any. En la Figura 87 es representa la "duration curve" d'aquest cas on podem veure que en tot moment l'oferta produïda pel CPD és superior a la demanda.

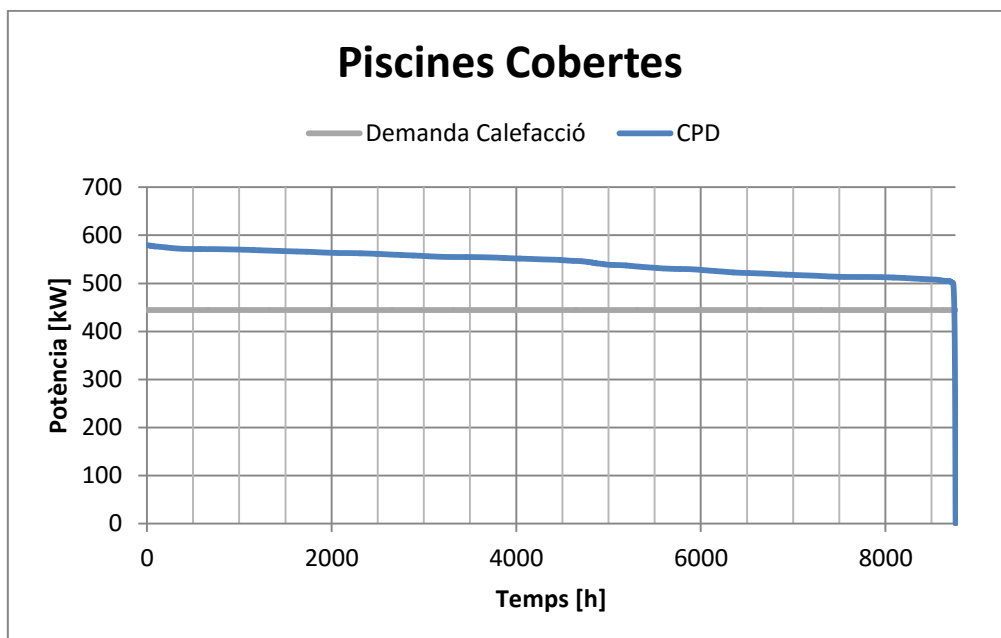


Figura 87: "Duration curve" de la demanda d'ACS d'un vas de piscina durant un any. I la representació del que ens proporciona el CPD.

En aquest cas en tot moment podem donar servei, tenint un sobrant de calor que s'ha de dissipar. S'ha optat per no fer un estudi mes a mes ja que durant tot l'any el CPD ens cobreix la

demanda tal com mostra la Figura 87. Així doncs no necessitem de cap equip auxiliar, no és necessari emmagatzemar calor i la calor sobrant anual a dissipar és de 861780,95 kW.

5.3. Aigua Calenta Sanitària (ACS) en habitatges

5.3.1. Temperatura de servei

Els requisits mínims a nivell de temperatura per donar servei d'ACS és enviar aigua a l'usuari a una temperatura de 50 °C. Per tant la millor configuració serà la de l'escenari 4 (4 servidors en sèrie) que ens dóna una temperatura de servei màxima de 46,97 °C. Observem que no s'arriba a la temperatura de servei, per tant necessitem d'un equip auxiliar (bomba de calor) per tal d'arribar-hi. Igualment que s'ha procedit en el punt 5.1.1. Com que les temperatures són les mateixes i el cabal que ens surt del CPD és el mateix la manera de dimensionar la bomba és la mateixa donant el mateix resultat sent aquest de 118,66 kW com a mínim per poder subministrar aquest servei.

5.3.2. Potència

El dimensionament de quants edificis (superfície mitjana 90 m²) es pot donar servei és similar al punt anterior 5.2.2 ja que la demanda és durant tot l'any. Per tant l'energia anual que ens proporciona el CPD és la calculada l'equació Eq. (18).

$$Energia_{anual}[kWh] = Energia_{setmanal} \cdot \frac{365}{7} = 3842772,77 kWh = Energia_{anual_{CPD}} \quad \text{Eq. (18)}$$

A partir de l'energia anual i la superfície mitjana, aplicant l'equació Eq. (16) obtenim el nombre d'edificis als quals podem donar servei que són 2425 edificis. Ara es pot obtenir el perfil real de la demanda pels edificis calculats durant un any. En la Figura 88 es pot observar la "duration curve" de la demanda d'ACS per habitatges i el que ens produeix el CPD. On es pot observar que hi haurà moments de l'any on la demanda supera el que produïm per tant serà necessari un sistema auxiliar per abastir aquesta demanda.

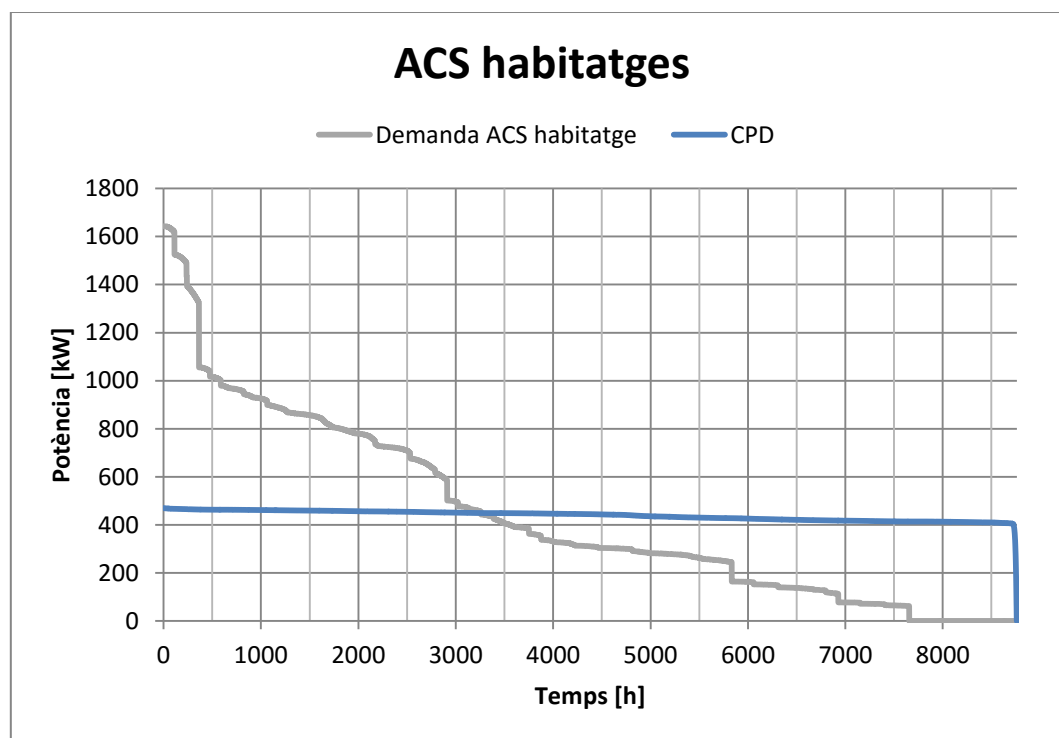


Figura 88: "Duration curve" de la demanda d'ACS d'un habitatge en un any. I el que ens proporciona el CPD.

A partir d'aquest perfil, veiem que hi ha instants on la demanda és molt superior al que ens proporciona el CPD i viceversa. Per tal de saber ens quins moments podem emmagatzemar potència i reaprofitar-la per subministrar-la quan la demanda és major.

En les Figura 89, Figura 90 i Figura 91 es veuen representats tots els mesos de l'any amb la demanda, la demanda que cobrim amb el CPD i el que produeix el CPD de manera constant. S'observa que degut a les fluctuacions de la demanda podem emmagatzemar suficient calor per abastir quasi el 100% de la demanda de tots els mesos.

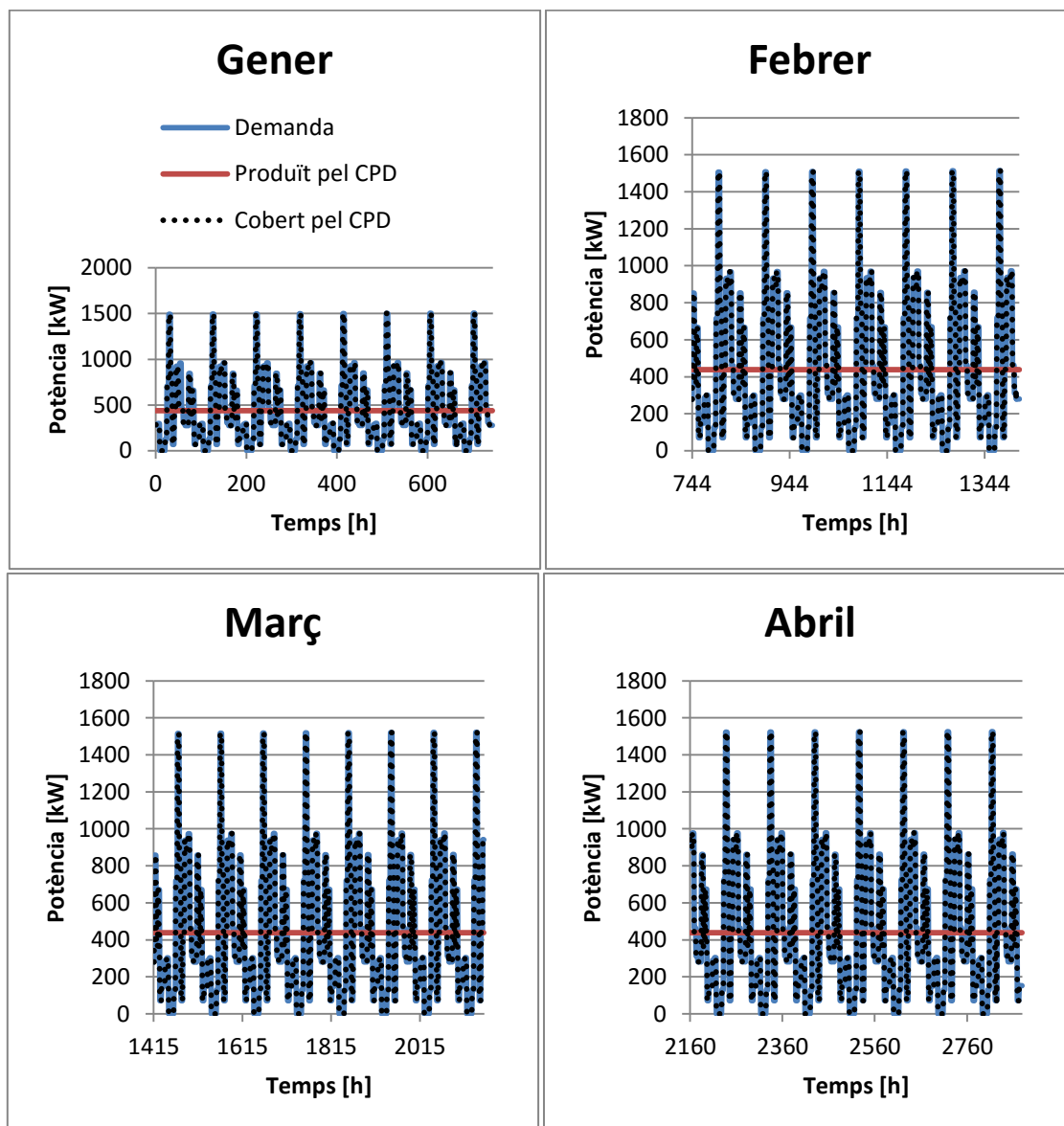


Figura 89: Demandes dels 4 primers mesos de l'any, i del que podem cobrir amb el CPD i el que ens produeix el CPD de manera constant.

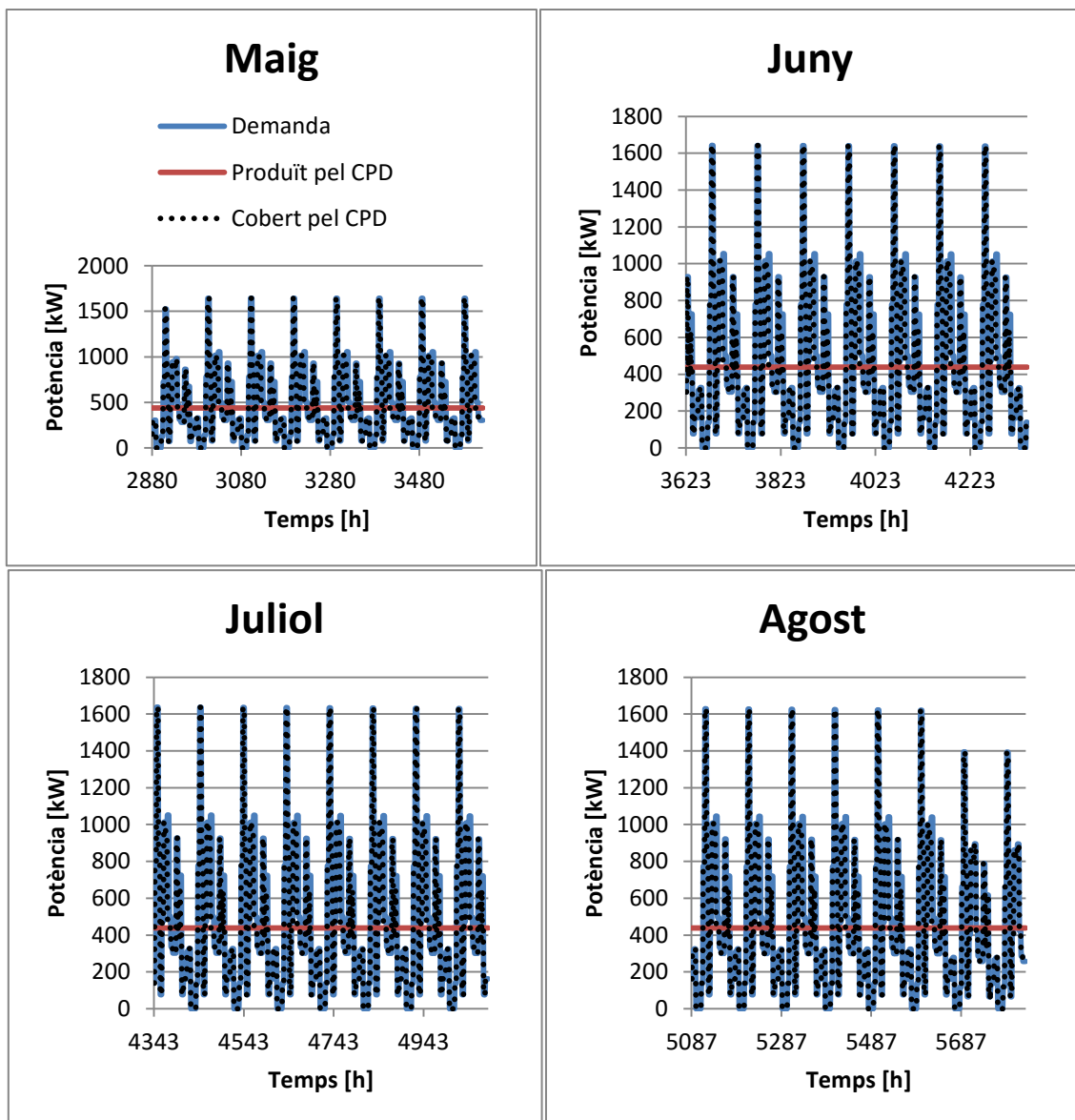


Figura 90: Demandes dels 4 segons mesos de l'any, i del que podem cobrir amb el CPD i el que ens produeix el CPD de manera constant.

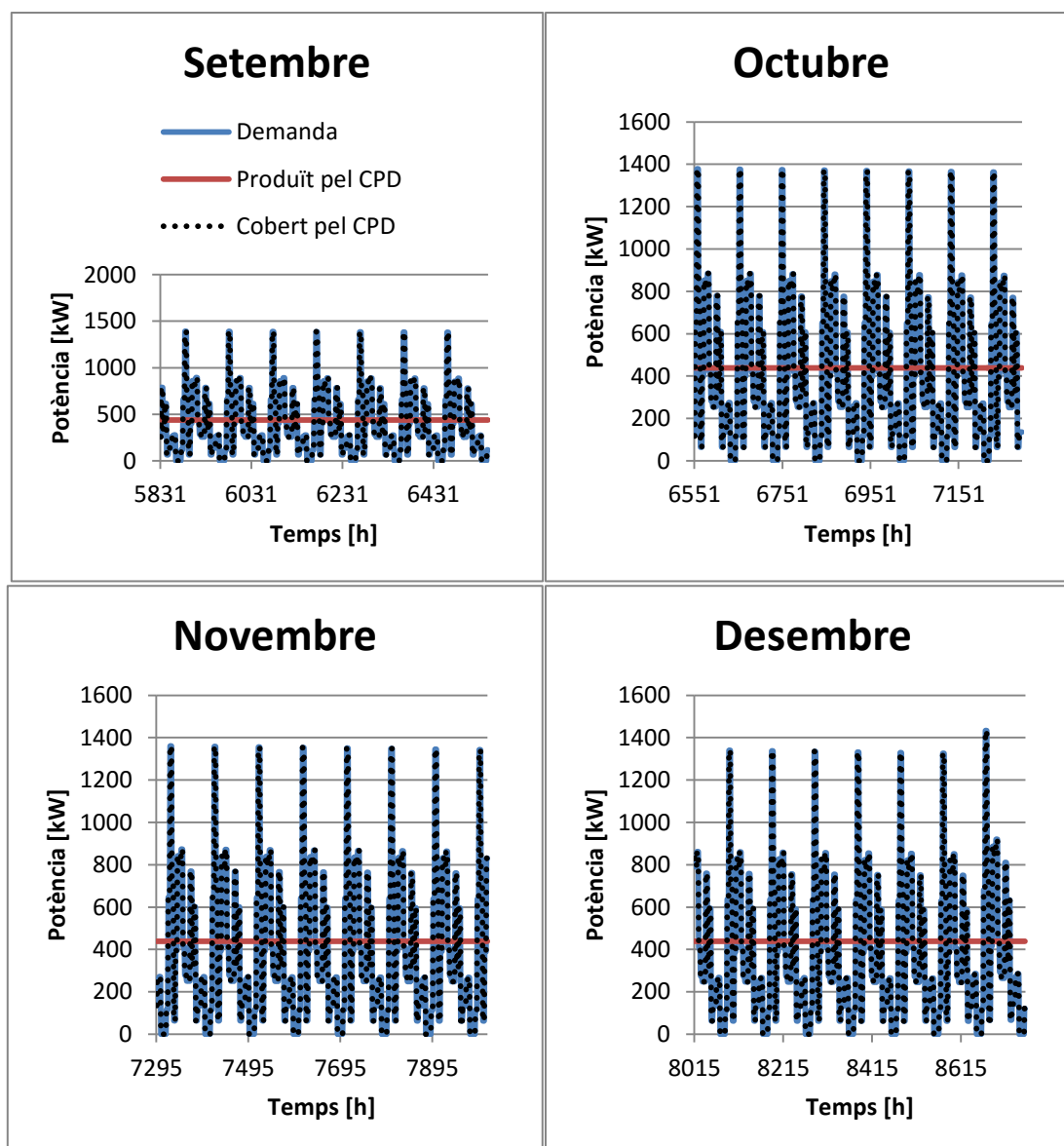


Figura 91: Demandes dels 4 tercers mesos de l'any, i del que podem cobrir amb el CPD i el que ens produeix el CPD de manera constant.

En la Figura 92, Figura 93 i Figura 94 es representa el % de cada font que s'utilitza per cobrir el 100% de la demanda de tots els mesos de l'any.

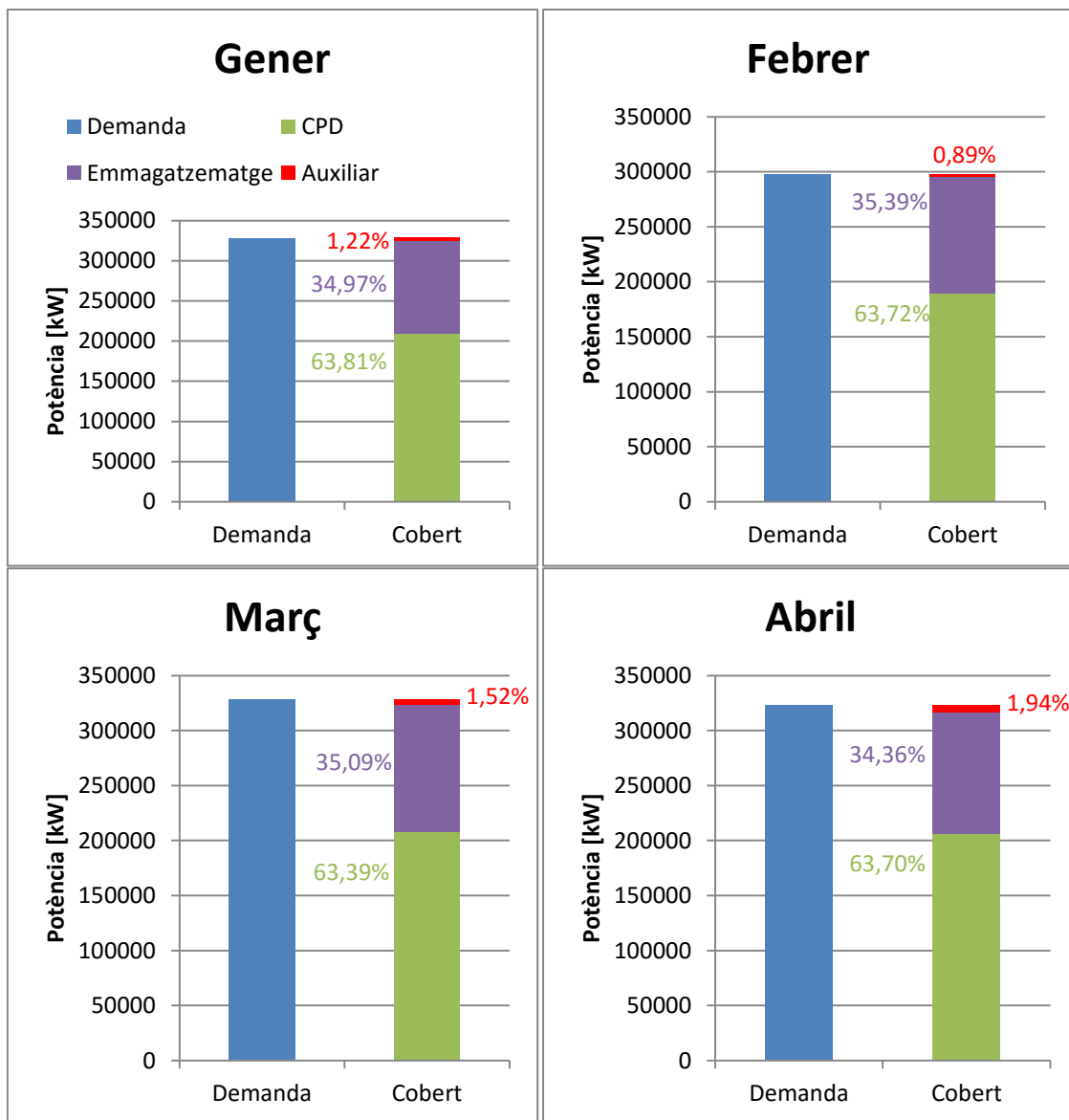


Figura 92: Distribució de com es cobreix la demanda durant els primers quatre mesos de l'any.

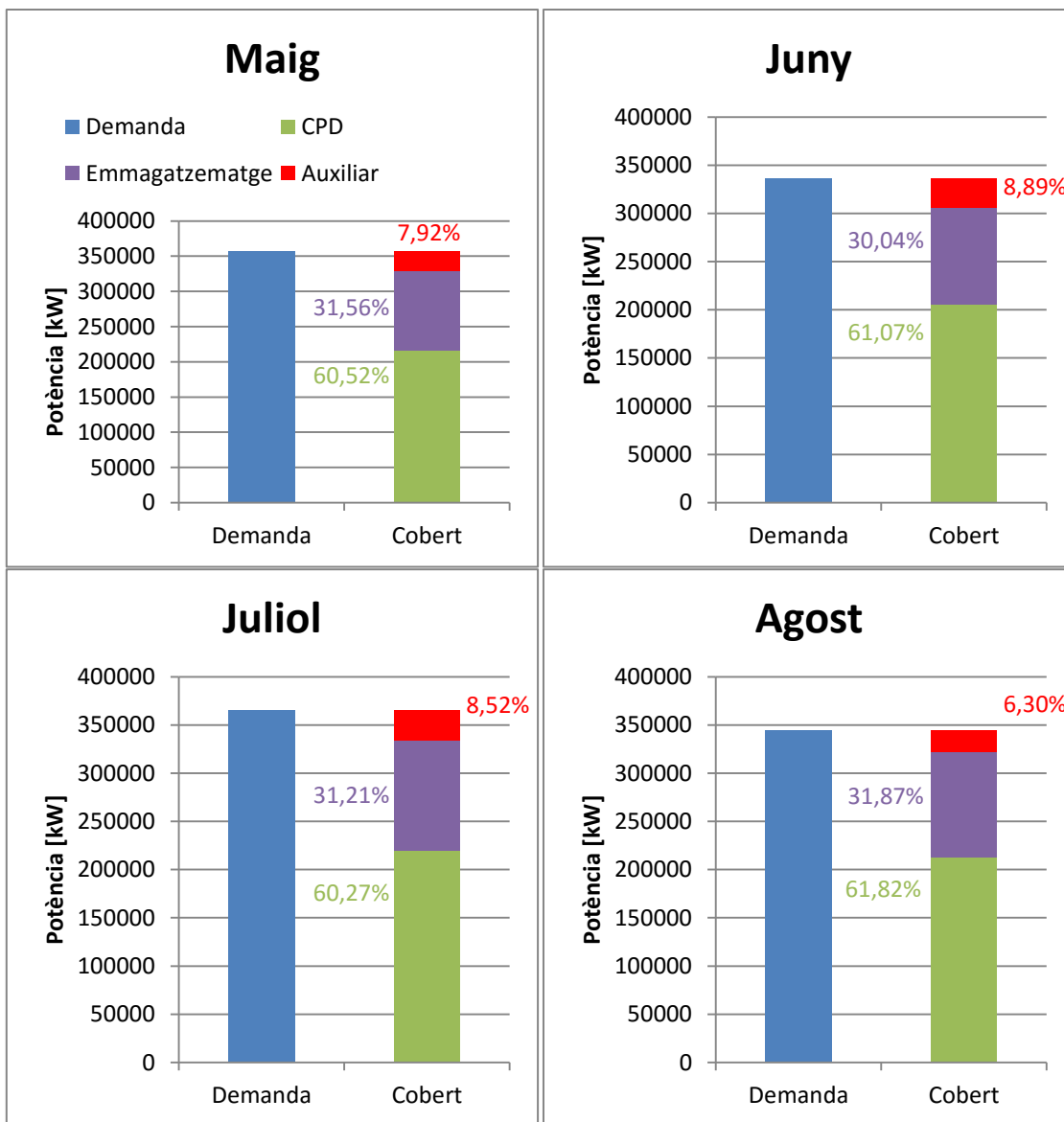


Figura 93: Distribució de com es cobreix la demanda durant els segons quatre mesos de l'any.

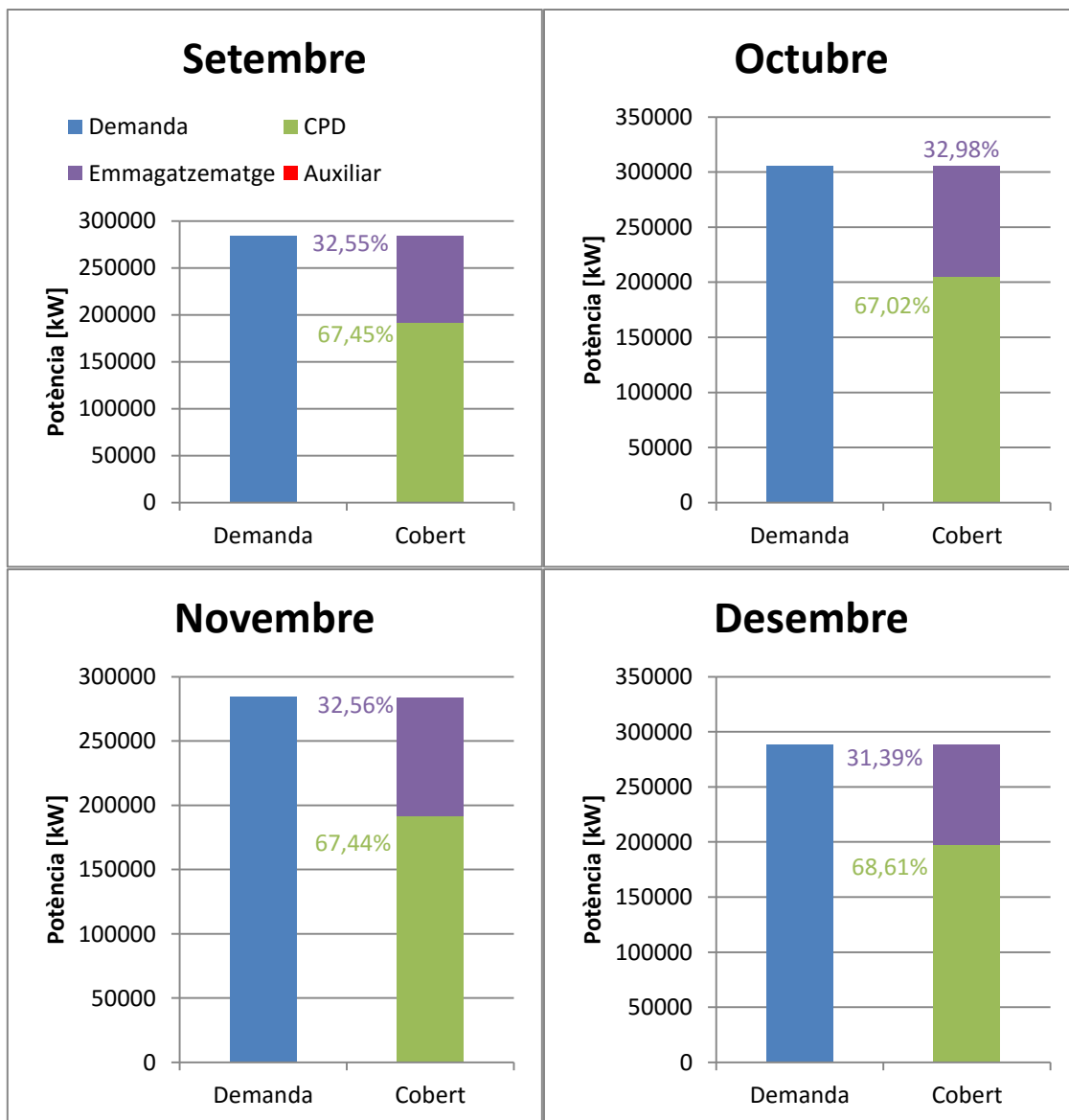


Figura 94: Distribució de com es cobreix la demanda durant els últims quatre mesos de l'any.

En la Taula 34 es poden observar els estalvis numèrics i els màxims que ens ha de subministrar la caldera en el cas que fos necessari. Al final de l'any obtenim un calor romanent de 26851,27 kW el qual es pot aprofitar per l'any següent o sinó és possible s'ha de dissipar en l'ambient. Observem que la potència màxima necessària de l'equip auxiliar es dona al mes de maig (616,55 kW), per tant com a mínim s'haurà d'instal·lar un equip que ens pugui proporcionar aquesta potència. També es poden veure les demandes de cada mes i amb quines fonts es cobreixen, ja sigui amb el CPD de manera directa o amb la calor emmagatzemada (CPD) o amb l'equip auxiliar (Equip auxiliar).

Mes	Demanda [kW]	CPD [kW]	Equip auxiliar [kW]	Estalvi [%]	Calor sobrant a final de mes [kW]	Potència màxima caldera [kW]
Gener	328523,92	324510,56	4013,36	98,78	1829,55	519,72
Febrer	297602,85	294965,89	2636,97	99,11	1622,47	231,64
Març	328519,77	323542,00	4977,77	98,48	4420,57	235,05
Abril	323016,42	316759,13	6257,29	98,06	3474,45	236,64
Maig	356708,65	328461,99	28246,65	92,08	1352,56	616,55
Juny	336305,68	306400,51	29905,17	91,10	10765,06	615,80
Juliol	364785,47	333722,91	31062,57	91,48	3382,26	612,88
Agost	344385,20	322680,25	21704,96	93,69	7042,12	602,91
Setembre	284092,14	284092,14	-	100	38762,99	0
Octubre	305973,37	305973,37	-	100	59129,72	0
Novembre	284285,80	284285,80	-	100	91832,62	0
Desembre	288306,82	288306,82	-	100	26851,27	0

Taula 34: Resum de les dades anuals mes a mes.

5.4. Calefacció individual en un edifici d'oficines

5.4.1. Temperatura de servei

Els requisits mínims a nivell de temperatura per donar servei de calefacció amb emissors de calor convencionals és enviar aigua a l'usuari a una temperatura de 80 °C. Per tant la millor configuració serà la del escenari 4 (4 servidors en sèrie) que ens dóna una temperatura de servei màxima de 46,97 °C. Observem que no s'arriba a la temperatura de servei, per tant necessitarem d'un equip auxiliar (bomba de calor) per tal d'arribar-hi.

Dimensionament de la bomba de calor:

	T [°C]	
	Màx.	Mín.
Temperatura CPD	46,97	43,19

Taula 35: Temperatures que ens proporciona el CPD en la configuració de 4 servidors en sèrie (escenari 4).

Cabal CPD	4,17 kg/s
Cp Aigua	4,18 kJ/(K·kg)
T servei	80 °C

Taula 36: Dades necessàries pel dimensionament de la bomba

Per tal de dimensionar la bomba s'utilitzarà la temperatura mínima. A partir de les dades de la Taula 36 i l'equació Eq. (19) podem dimensionar la bomba. En la Figura 95 es representa una esquematització de la bomba de calor.

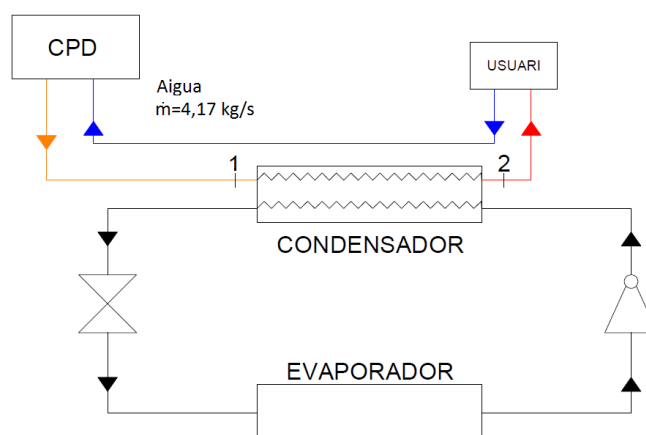


Figura 95: Esquematització del sistema auxiliar (bomba de calor) per augmentar la temperatura de sortida del CPD. On la temperatura en el punt 1 serà de 43,19°C i la del punt 2 ha de ser de 80°C.

$$\dot{Q}_{\text{condensador}} = \dot{m}_{\text{CPD}} \cdot c_{\text{aigua}} \cdot (T_2 - T_1) = 4,17 \cdot 4,18 \cdot (80 - 43,19) = 641,29 \text{ kW} \quad \text{Eq. (19)}$$

La bomba de calor necessària ha de poder subministrar 641,29 kW com a mínim per poder subministrar aquest servei.

5.4.2. Potència

En aquest cas es procedeix exactament igual que en el punt 5.1.2 ja que tenim els mateixos mesos que no hi ha demanda. Per tant per tal de dimensionar a quantes oficines podem subministrar el servei procedim de la mateixa manera, ara bé, variant la superfície mitjana que, en aquest cas, és de 200 m². Per tant podem subministrar el servei a unes 267 oficines. A partir d'aquí podem obtenir el perfil real de demanda d'aquesta situació. En la Figura 96 es pot observar la "duration curve" de la demanda de calefacció en un edifici d'oficines i el que produïm amb el CPD. Podem observar que hi ha moments que la demanda supera el que produïm per tant s'haurà de fer una anàlisi similar al de l'apartat 5.1.2 mes a mes, menyspreant els mesos que no tenim demanda.

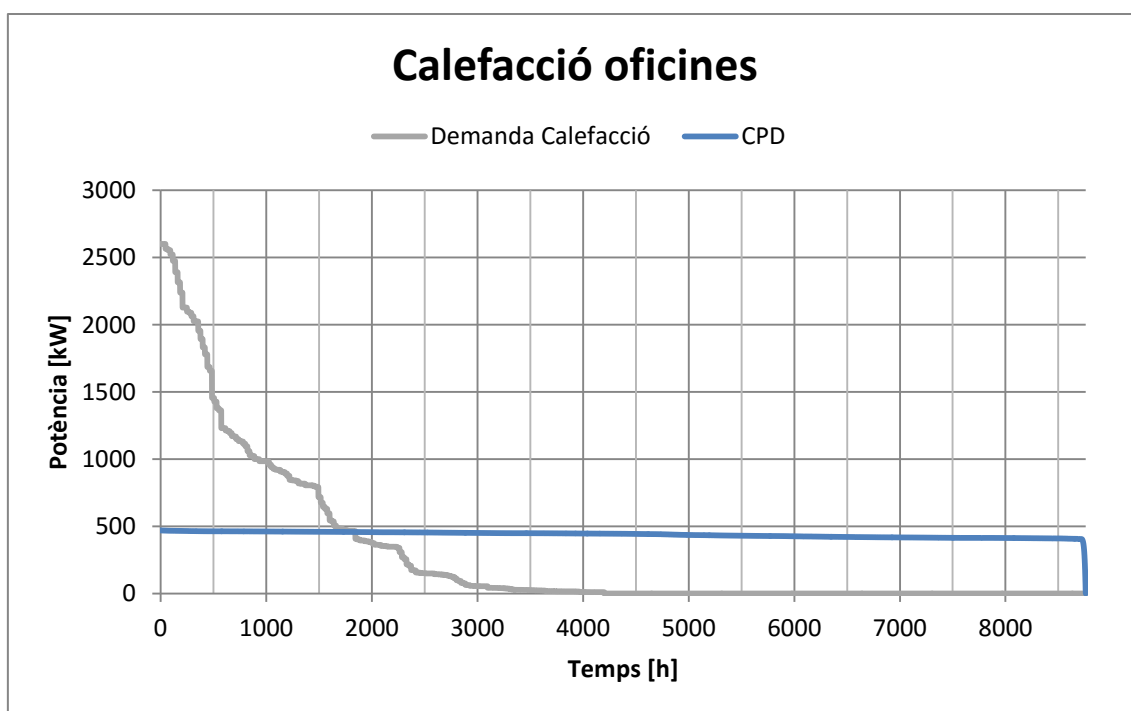


Figura 96: "Duration curve" de la demanda de calefacció en un edifici d'oficines per un any. I la representació del que ens proporciona el CPD.

A partir d'aquest perfil, veiem que hi ha instants on la demanda és molt superior al que ens proporciona el CPD i viceversa. Per tal de saber ens quins moments podem emmagatzemar potència i reaprofitar-la per subministrar-la quan la demanda és major.

En les Figura 97 i Figura 98 s'hi representen la demanda, el que produeix el CPD i la part de la demanda que cobrim amb el CPD dels mesos de gener i febrer, respectivament. On es veu que hi ha moments que la demanda és inferior al que produïm. Per tant podem emmagatzemar aquesta calor per reaprofitar-la en un moment posterior. Per exemple durant aproximadament les 100 primeres hores només podem cobrir la part de demanda que produeix el CPD. Ara bé a partir d'aquest moment la demanda és inferior per tant podem emmagatzemar aquesta calor i subministrar-la posteriorment quan la demanda és superior al que produïm.

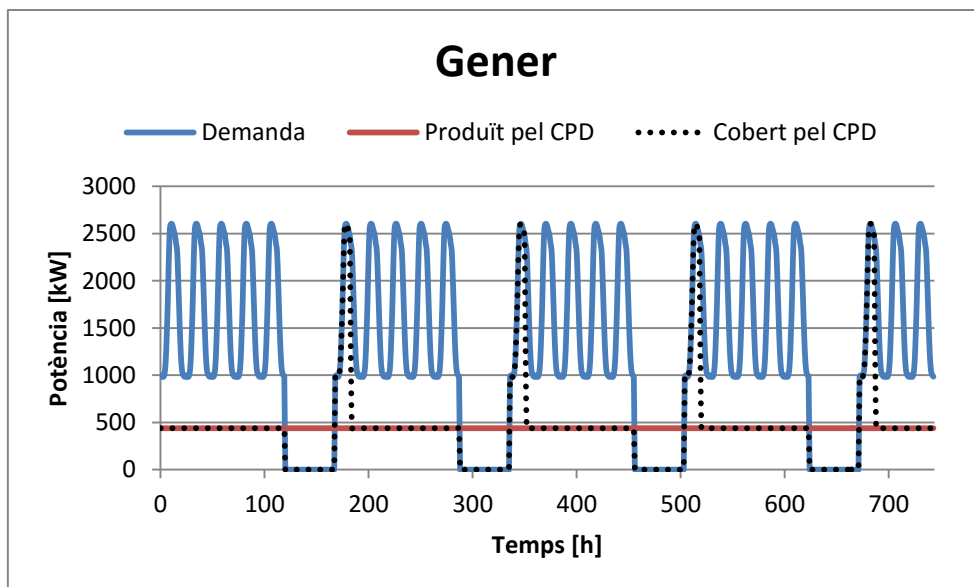


Figura 97: Demanda de calor del mes de gener i el que ens aporta el CPD.

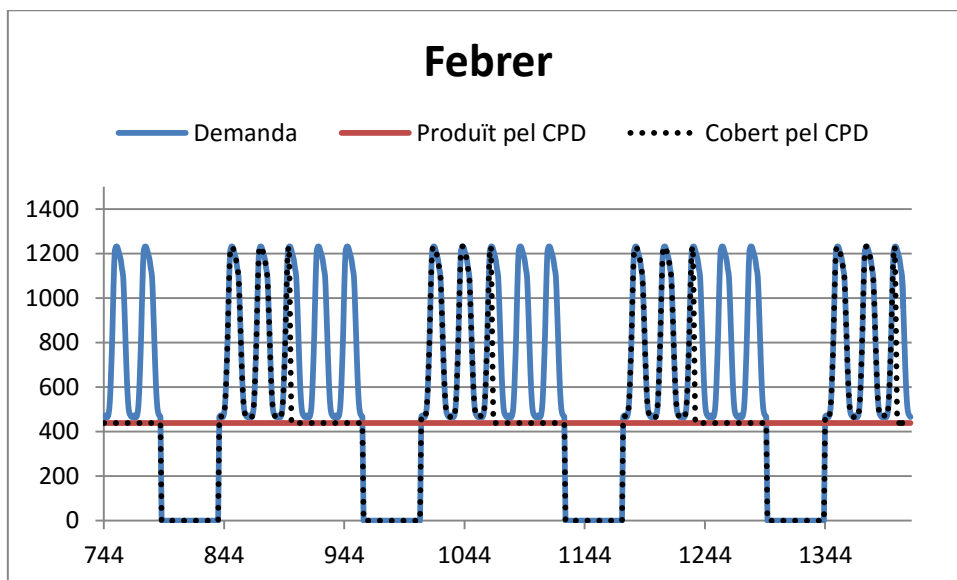


Figura 98: Demanda de calor del mes de febrer i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 99 i Figura 100 es representen les distribucions de com es cobreixen les demandes dels mesos de gener i febrer. On podem veure que durant el mes de gener quasi bé dos terços de la demanda s'han de cobrir amb l'equip auxiliar (65,24%). Mentre que una mica més d'un quart de la demanda es cobreix directament amb el CPD (25,79%) i la resta es cobreix amb la calor emmagatzemada i reutilitzada (8,97%). En canvi al mes de febrer observem que més de la meitat de la demanda es pot cobrir directament amb el CPD (54,52%), quasi bé un quart de la demanda s'ha de cobrir amb l'equip auxiliar (25,79%) i la resta es cobreix amb la calor emmagatzemada (21,81%).

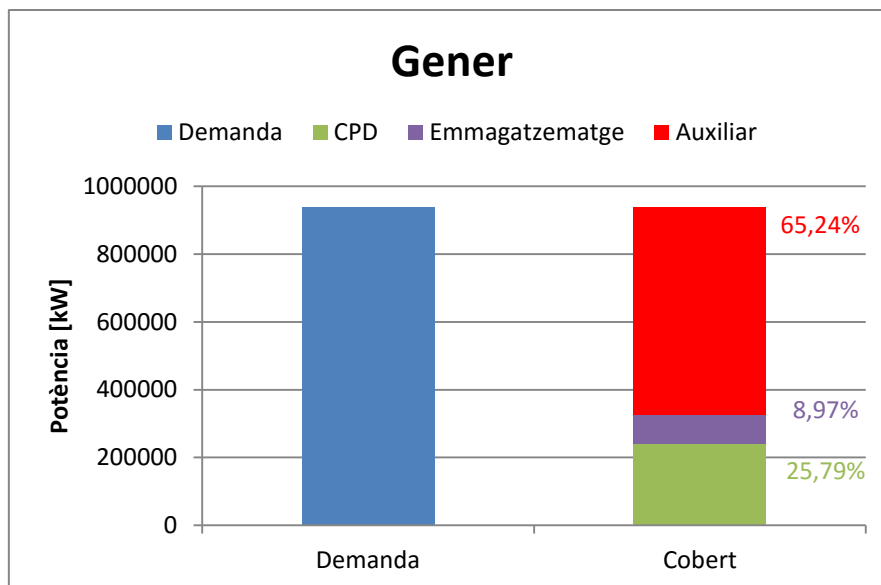


Figura 99: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de gener.

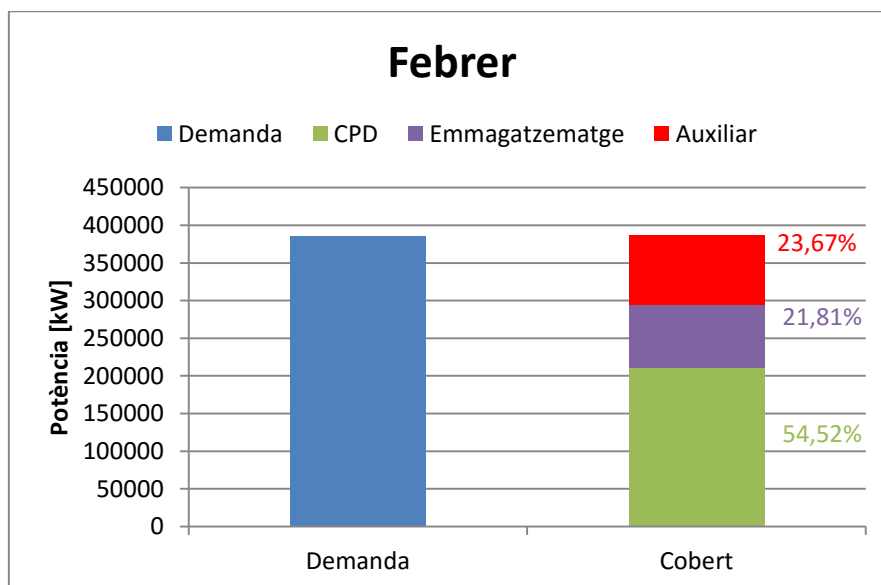


Figura 100: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de febrer.

En les Taula 37 i Taula 38 s'hi exposen les dades energètiques dels mesos de gener i febrer, el que s'estalvia cobrint una part de la demanda amb el CPD directament (CPD), una altra part amb la calor emmagatzemada (Calor reaprofitada) i l'altra amb l'equip auxiliar i la màxima potència que haurà de subministrar la caldera en un moment puntual.

Demanda	938765,50 kW
CPD	242123,31 kW
Calor reaprofitada	84216,80 kW
Equip Auxiliar	612425,39 kW
Estalvi	34,76 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	2162,68 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 37: Dades resum del mes de gener.

Demanda	386173,12 kW
CPD	210542,00 kW
Calor reaprofitada	84216,80 kW
Equip Auxiliar	91414,31 kW
Estalvi	76,33 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	791,97 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 38: Dades resum del mes de febrer.

En la Figura 101 s'hi pot observar tots els mesos de l'any que hi ha demanda, però en cap moment aquesta supera el que produïm amb el CPD. Per tant cobrim el 100% de la demanda i fins i tot hi ha calor que em de dissipar perquè no pot ser aprofitada.

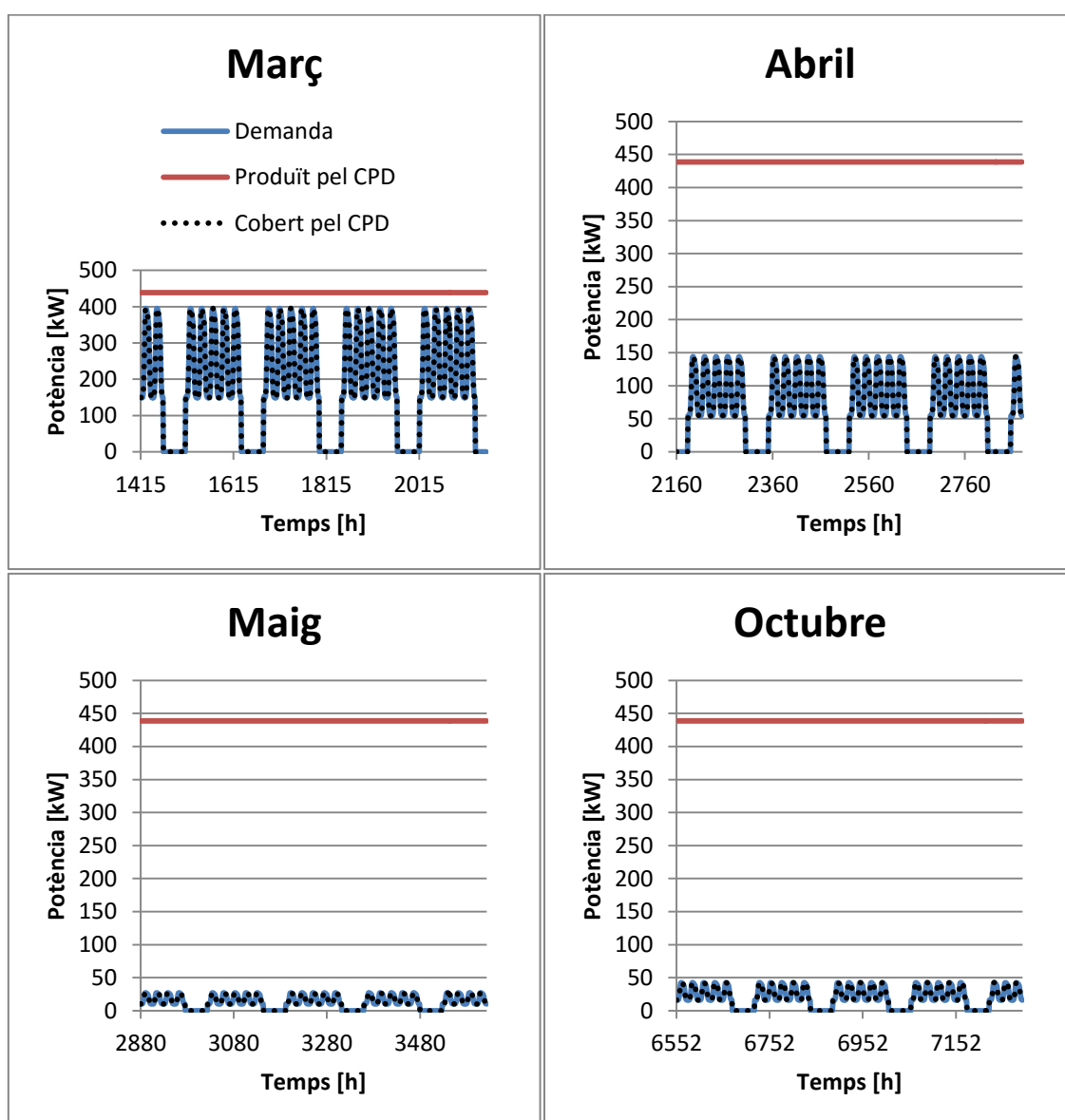


Figura 101: Demanda dels mesos en que aquesta mai supera l'oferta produïda pel CPD.

En la Figura 102 es mostra la distribució de la demanda segons la font utilitzada per cobrir-la. I com que en tots els mesos la demanda mai supera el que produeix el CPD el 100% de la demanda es cobreix directament amb el CPD.

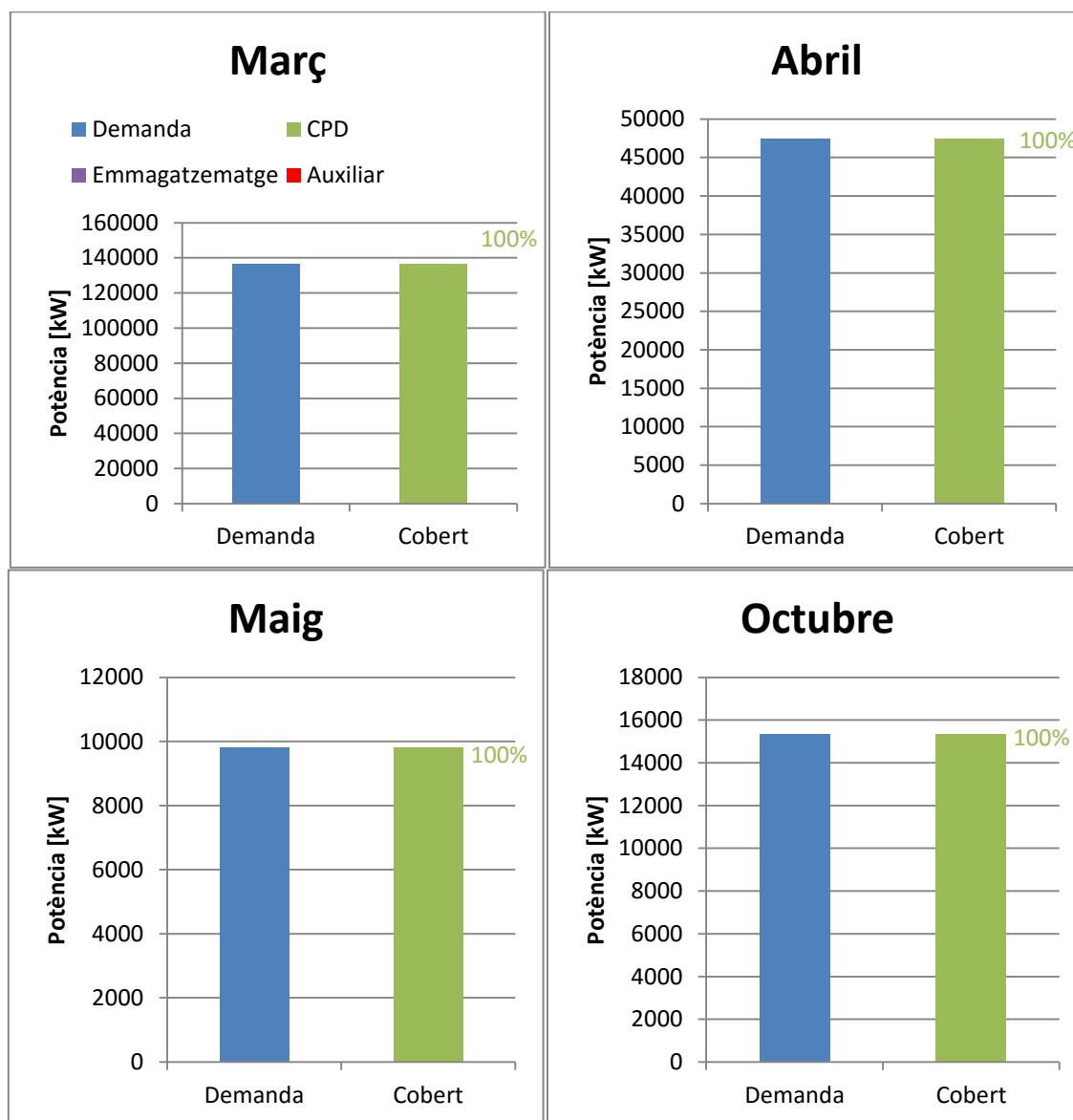


Figura 102: Distribució de com es cobreix la demanda total dels mesos on la demanda mai és superior al que produeix el CPD.

En la Taula 39 es pot observar la calor total sobrant durant els mesos on durant tot l'interval de temps produïm més calor que la que necessitem i tenim que dissipar aquesta al ambient.

Mes	Calor a dissipar [kW]
Març	190082,96
Abril	268415,07
Maig	316520,75
Octubre	310979,45

Taula 39: Calor sobrat a dissipar dels mesos on es produeix més que la demanda.

En la Figura 103 observem la demanda del mes de novembre i podem veure que només en el principi no podem cobrir tota la demanda. Una vegada s'ha pogut emmagatzemar la suficient calor observem que podem cobrir tot el mes només amb el CPD.

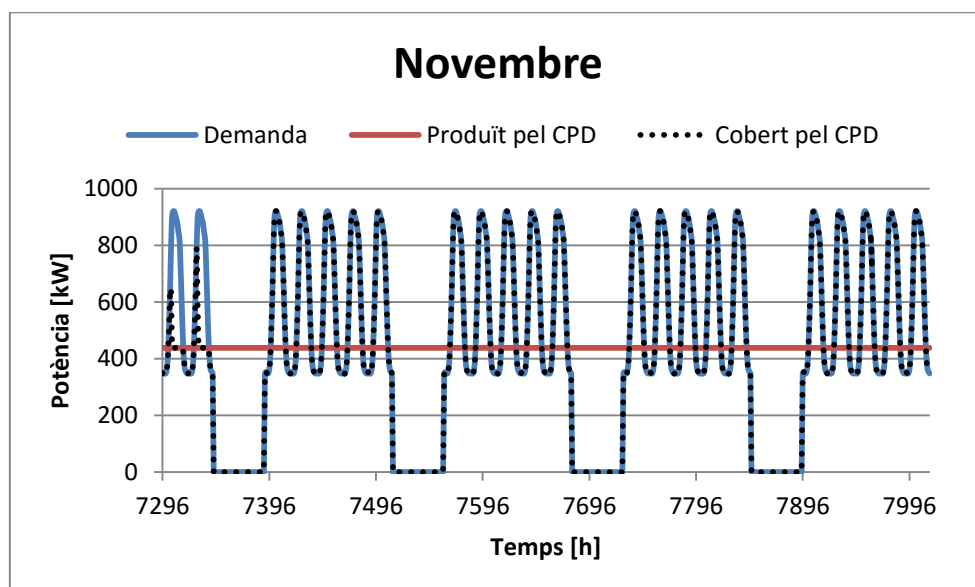


Figura 103: Demanda de calor del mes de novembre i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 104 es representa la distribució de com es cobreix la demanda segons les diferents fonts que es tenen. On es mostra que més de dos terços de la demanda es cobreix directament amb el CPD (67,36%), quasi bé un terç de la demanda amb la calor emmagatzemada i posteriorment reutilitzada (30,08%) i la resta s'ha de cobrir amb l'equip auxiliar (2,55%).

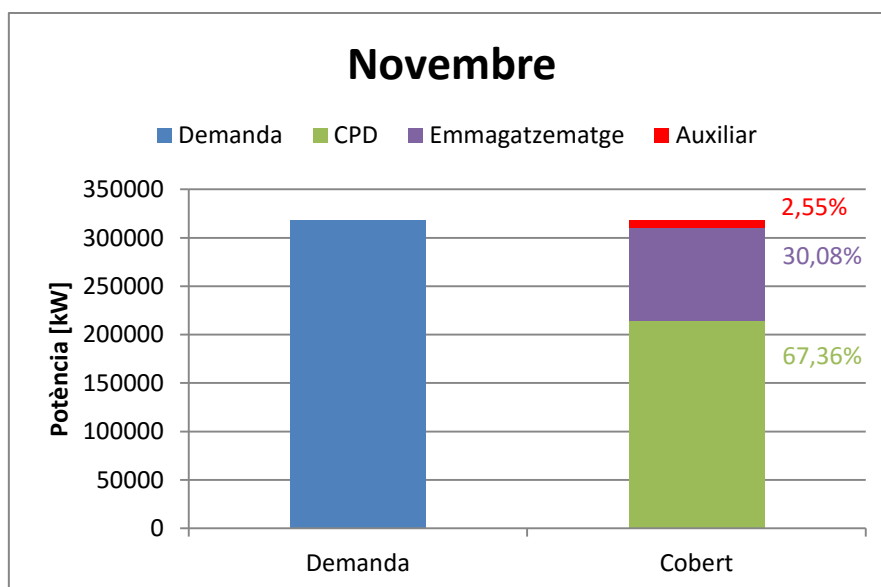


Figura 104: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de novembre.

En la Taula 40 s'hi plasmen les dades del mes de novembre com l'estalvi i el màxim de potència que haurà de subministrar un equip auxiliar (caldera) en un moment puntual com també la demanda i com es cobreix aquesta directament amb el CPD (CPD) amb la calor

emmagatzemada (Calor reaprofitada) i amb l'equip auxiliar i la calor sobrant a final de mes la qual pot ser utilitzada al mes següent.

Demanda	317729,94 kW
CPD	214029,70 kW
Calor reaprofitada	95582,63 kW
Equip Auxiliar	8117,60 kW
Estalvi	97,45 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	481,82 kW
Calor sobrant a final de mes	5192,84 kW

Taula 40: Dades resum del mes de novembre.

En la Figura 105 observem la demanda i el que podem cobrir amb el CPD juntament amb el que ens produeix el CPD. Podem veure que amb la calor que emmagatzemem durant els moments que la demanda no sobrepassa el que produïm no podem abastir gran part de la demanda. Per tant serà necessari d'una caldera auxiliar per suplir-ho.

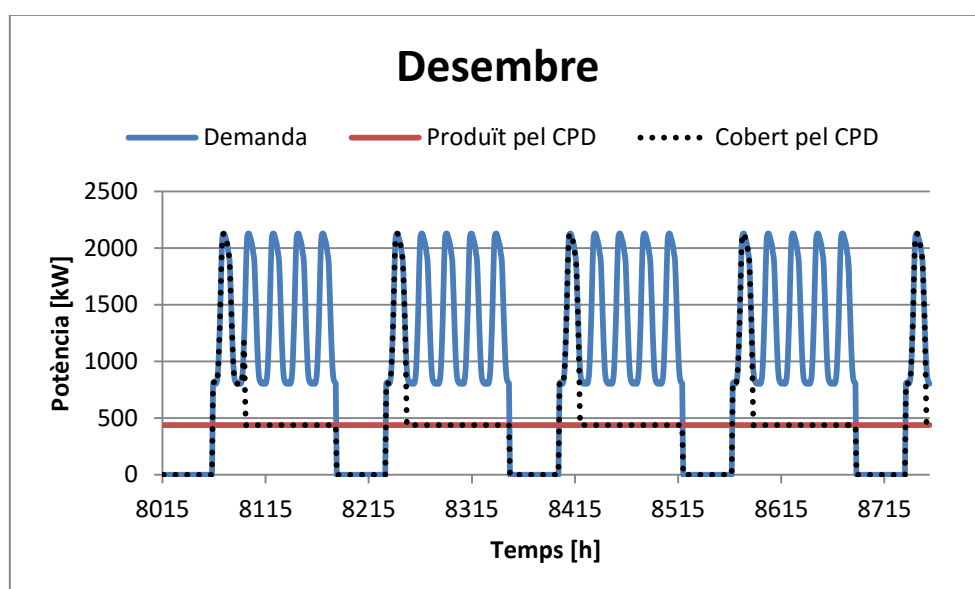


Figura 105: Demanda de calor del mes de desembre i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 106 s'hi representa la distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de desembre. On s'observa que més de la meitat de la demanda ha de ser coberta per l'equip auxiliar (53,45%), una mica més d'un terç de la demanda es cobreix directament amb el CPD (34,54%) i la resta amb la calor emmagatzemada i posteriorment reutilitzada (12,01%).

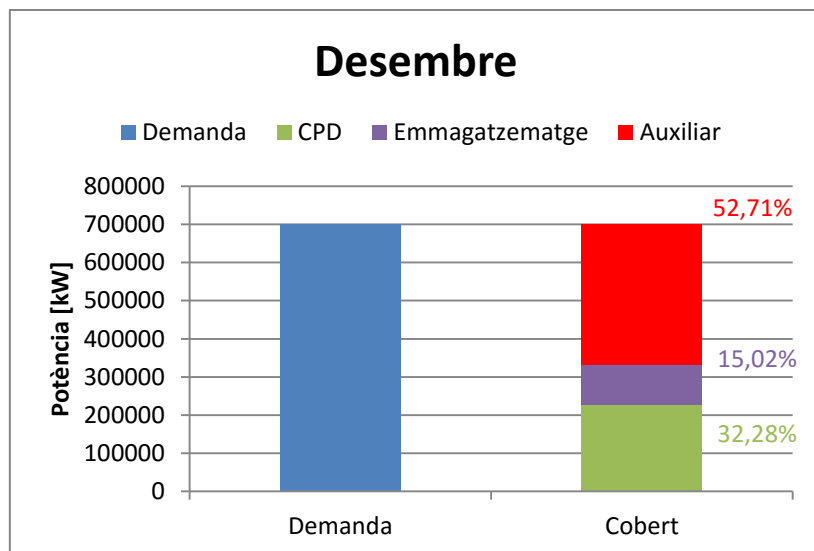


Figura 106: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de desembre.

En la Taula 41 es mostren les dades del mes de desembre. Com la demanda total, la part coberta pel CPD directament, la part coberta per la calor emmagatzemada i la part coberta per l'equip auxiliar. També es mostra l'estalvi, la potència màxima que s'ha de subministrar per part de l'equip auxiliar i la calor sobrant a final de mes.

Demanda	701016,35 kW
CPD	226261,94 kW
Calor reaprofitada	105271,00 kW
Equip Auxiliar	369483,41 kW
Estalvi	47,29 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	1688,88 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 41: Dades resum del mes de desembre.

En la Taula 42 podem observar les dades anuals mes a mes. On s'observa que el mes que necessitem major potència de l'equip auxiliar és el mes de gener (2162,68 kW), per tant s'haurà d'instal·lar un equip que com a mínim ens pugui subministrar aquesta potència. També podem veure que a final d'any no tenim calor sobrant, ara bé durant els mesos de març a octubre la calor sobrant s'ha de dissipar a l'ambient ja que no tenim una font de consum instantània.

Mes	Demanda [kW]	CPD total [kW]	Equip auxiliar [kW]	Estalvi [%]	Calor sobrant a final de mes [kW]	Potència màxima caldera [kW]
Gener	938765,50	326340,11	612425,39	34,76	-	2162,68
Febrer	386173,12	294758,81	91414,31	76,33	-	791,97
Març	136257,15	136257,15	-	100	190082,96	-
Abril	47397,94	47397,94	-	100	268415,07	-
Maig	9819,36	9819,36	-	100	316520,75	-
Octubre	15360,65	15360,65	-	100	310979,45	-
Novembre	317729,94	309612,34	8117,60	97,45	5192,84	481,82
Desembre	701016,35	331532,94	369483,41	47,29	-	1688,88

5.5. Calefacció en un hospital

5.5.1. Temperatura de servei

Els requisits mínims a nivell de temperatura són els mateixos que els explicats en el punt 5.4.1 per tant es procedeix d'igual manera, ja que les temperatures de servei i la proporcionada pel CPD són les mateixes. D'aquesta manera es necessitarà una bomba que proporcioni 641,29 kW.

5.5.2. Potència

S'ha considerat que únicament es pot donar servei a un hospital, per tant el dimensionament consistirà en saber la superfície màxima de l'hospital a la qual es podrà abastir. Com que en un hospital hi ha demanda de calefacció durant tot l'any l'energia que haurà de subministrar el CPD serà la mateixa que la calculada en l'equació Eq. (18) que és de 3842772,78 kWh. Per tant per saber la superfície màxima a la qual es podrà subministrar usem l'Eq. (20).

$$Superfície = \frac{Energia_{anual_{CPD}}}{Energia_{demanda_{anual}}} = \frac{3842772,78 \text{ kWh}}{64.48 \text{ kWh/m}^2} \approx 59000 \text{ m}^2 \quad \text{Eq. (20)}$$

Una vegada dimensionat l'hospital al qual es pot donar el servei podem obtenir el perfil real de demanda d'aquest. En la Figura 107 es pot veure el perfil de demanda de calefacció ordenat de major a menor demanda. S'observa que hi ha menys de la meitat de l'any on la demanda es superior al que produïm per tant serà necessari d'un equip auxiliar que ens abasteixi aquesta demanda. Ara bé per tal de fer-ho detalladament s'ha fet un estudi mes a mes per veure realment quina demanda podem suplir i quina no i quanta potència podem emmagatzemar quan la demanda sigui inferior per poder-la utilitzar posteriorment.

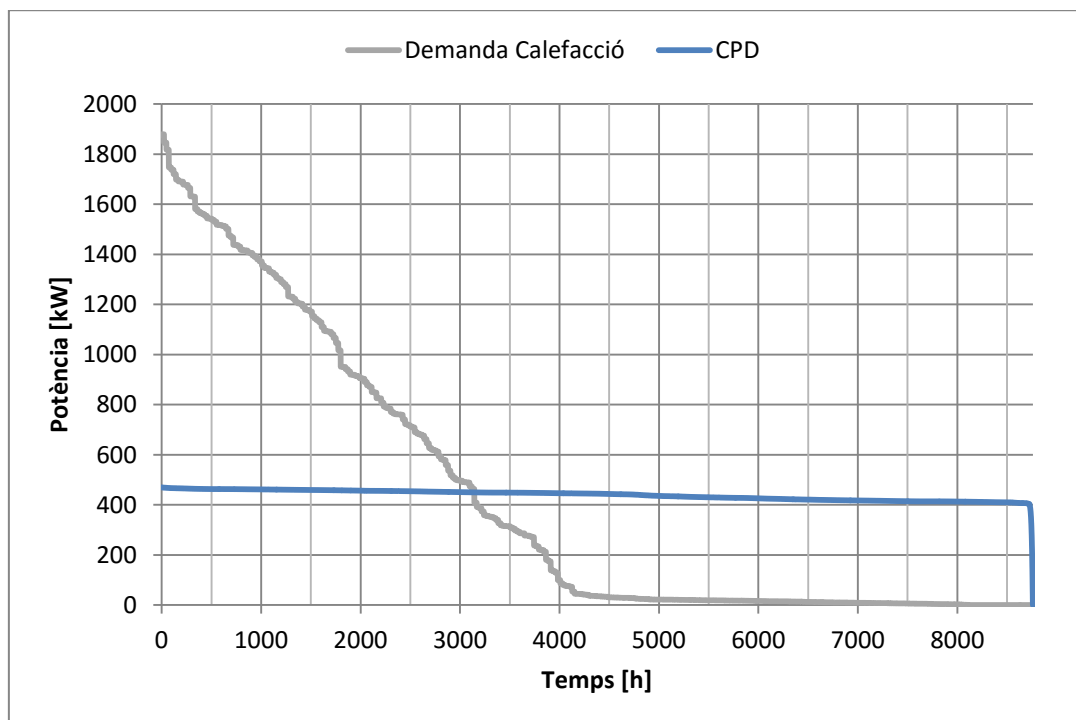


Figura 107: "Duration curve" de la demanda de calefacció en un hospital en un any. I la representació del que ens proporciona el CPD.

En la Figura 108 es pot veure que les demandes dels mesos de gener i febrer són superiors al que ens produeix el CPD en tot l'interval de temps. Per tant en cap instant podem emmagatzemar calor per tal de subministrar-la posteriorment. Així doncs necessitarem una caldera que ens subministri el que resta de la demanda que no pot ser abastida.

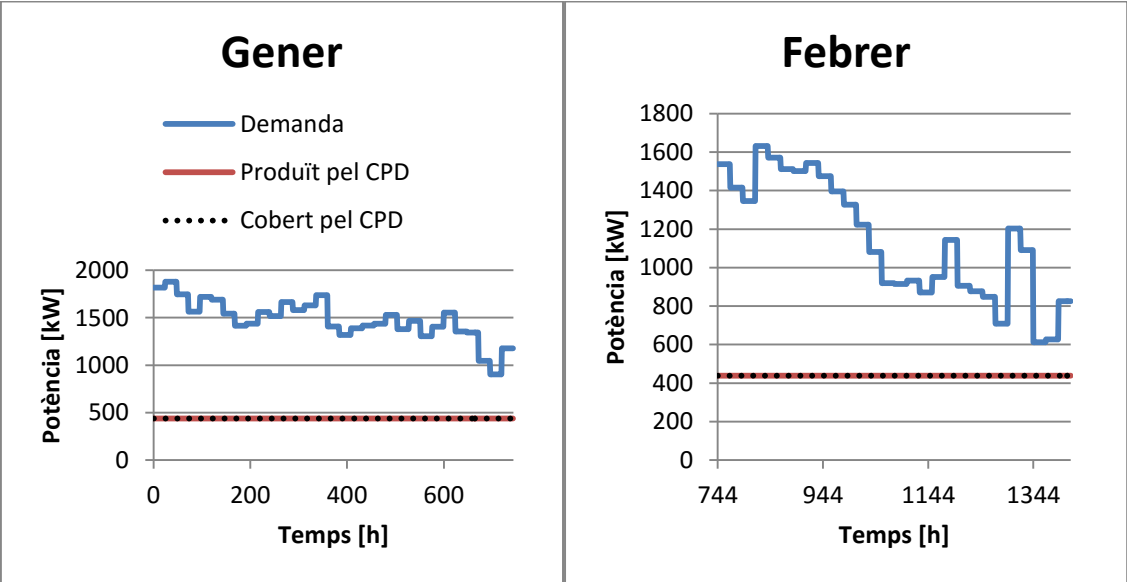


Figura 108: Demanda de calor dels mesos de gener i febrer i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 109 podem observar la distribució de com es cobreix la demanda durant els mesos de febrer i gener. En tots dos casos podem observar que la major part de la demanda s'ha de cobrir amb l'equip auxiliar ja que la demanda durant tot els dos mesos és superior al que produïm amb el CPD.

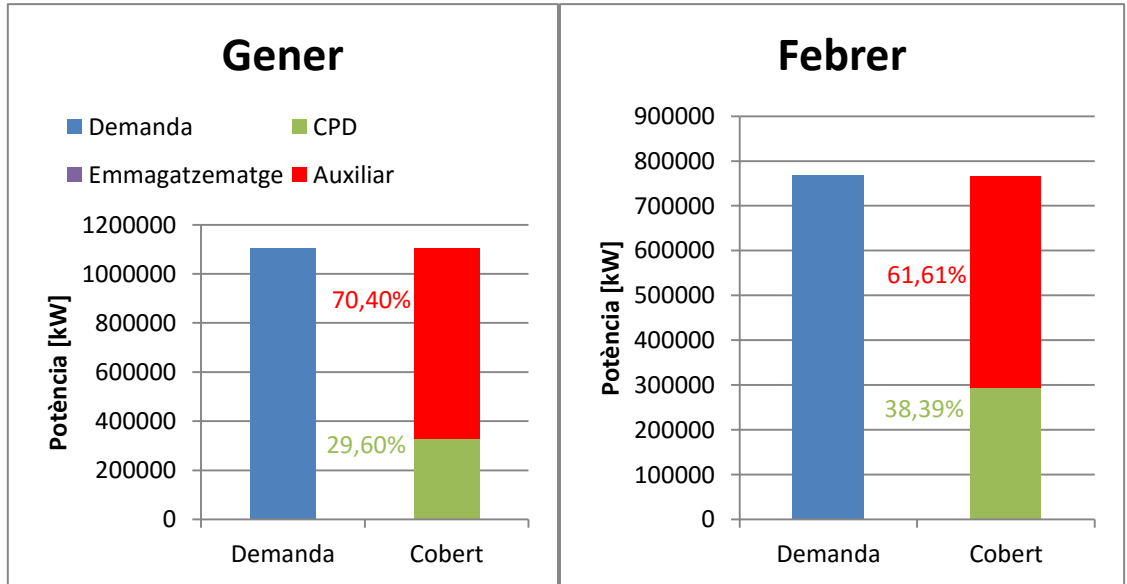


Figura 109: Distribució de com es cobreix la demanda durant els mesos de gener i febrer.

En la Taula 43 s'hi veuen plasmades les dades d'estalvi que en proporciona el CPD i la potència màxima que haurà de subministrar la caldera en un moment puntual de cada mes. A més a més s'hi veuen la potència total que ha d'aportar l'equip auxiliar (caldera) en tots dos mesos i la demanda total.

Mes	Demanda Total [kW]	Potència coberta pel CPD [kW]	Equip auxiliar [kW]	Estalvi [%]	Potència màxima de la caldera [kW]	Calor sobrant a final de mes [kW]
Gener	1102678,94	326340,11	776338,84	29,60	1440,58	-
Febrer	767703,04	294758,81	472944,23	38,39	1192,70	-

Taula 43: Dades dels mesos de gener i febrer.

En la Figura 110 hi ha representada la demanda del mes de març i el que ens cobreix i produeix el CPD. Com es pot veure hi ha moment on la demanda és inferior per tant aquesta calor l'emmagatzemem per subministrar-la quan la demanda sigui superior i poder cobrir una part de la demanda. Com es pot observar hi haurà un sobrant a final de mes, el qual si en el mes següent el necessitéssim el podríem aprofitar. Ara bé com veurem més endavant no és així, per tant s'ha de dissipar aquesta calor.

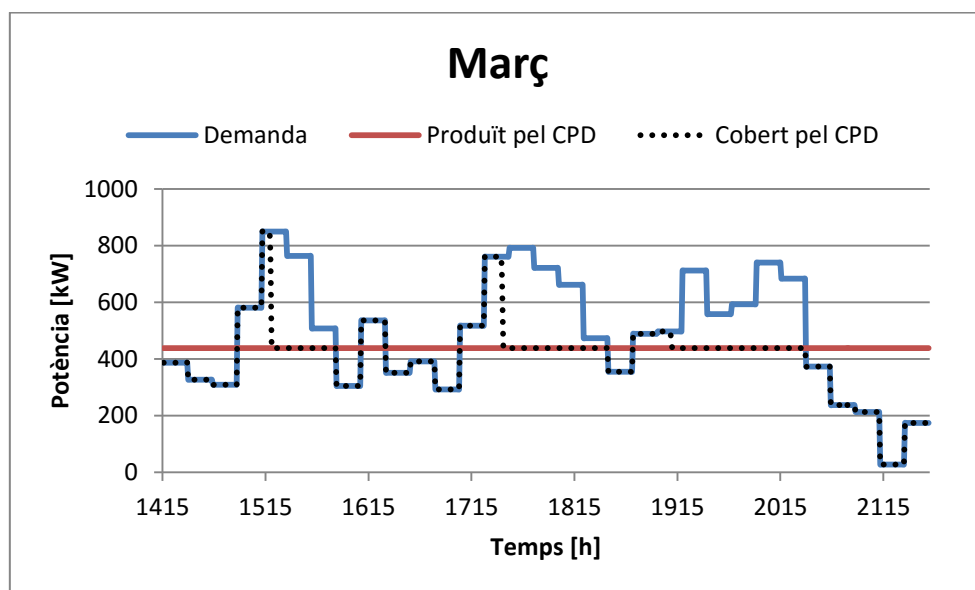


Figura 110: Demanda de calor del mes de març i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 111 es pot observar la distribució de com es cobreix la demanda segons les diferents fonts. Així doncs es veu que més de tres quartes parts de la demanda la podem cobrir amb el que ens produeix el CPD directament (76,63%), i la resta es reparteix majoritàriament amb l'equip auxiliar (18,17%) havent una petita part que es cobreix amb calor emmagatzemada i reaprofitada (5,20%).

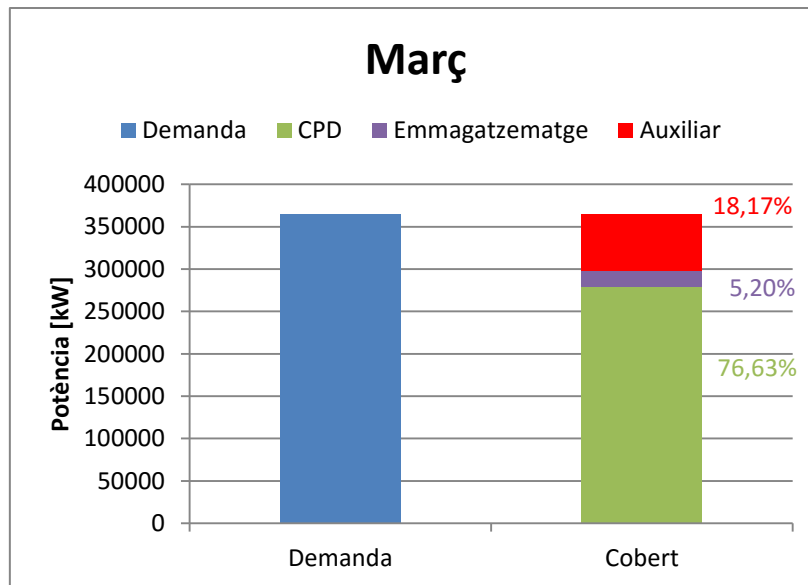


Figura 111: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de març.

En la Taula 44 podem observar les dades referents al mes de març. Com la demanda total mensual, la part que es cobreix directament amb el CPD (CPD), la part que cobrim amb la calor emmagatzemada i reutilitzada posteriorment (Calor reaprofitada) i la calor que ha d'aportar l'equip auxiliar. També s'hi plasma l'estalvi total, i la potència màxima que haurà d'aportar l'equip auxiliar. Finalment hi ha la calor sobrant a final del mes la qual no podrà ser reaprofitada ja que els mesos següents no tenim suficient demanda de calor i s'haurà de dissipar al ambient.

Demanda	364574,85 kW
CPD	279387,48 kW
Calor reaprofitada (Emmagatzematge)	18946,94 kW
Equip Auxiliar	66240,43 kW
Estalvi	81,83 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	411,42 kW
Calor sobrant a final de mes	28005,69 kW

Taula 44: Dades del mes de març.

En la Figura 112 i Figura 113 hi ha representats tots els mesos on hi ha demanda però aquesta mai supera el que produeix el CPD. Per tant l'estalvi en tots ells serà del 100% i el sobrant de calor que es produeix s'haurà de dissipar en l'ambient ja que no tenim un usuari immediat d'aquesta calor.

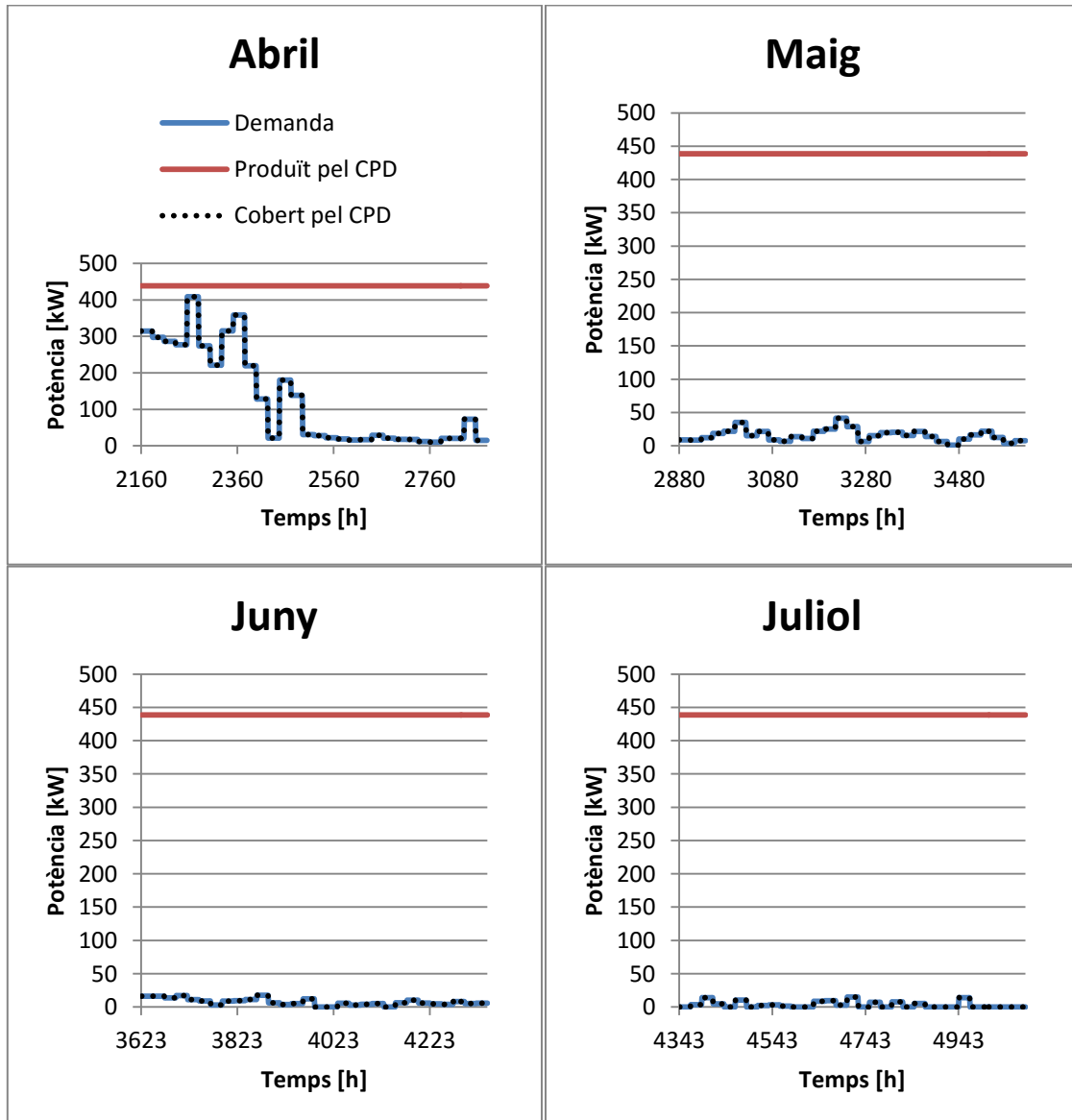


Figura 112: Demandes de calor dels mesos d'abril, maig, juny i juliol i el que ens produeix el CPD.

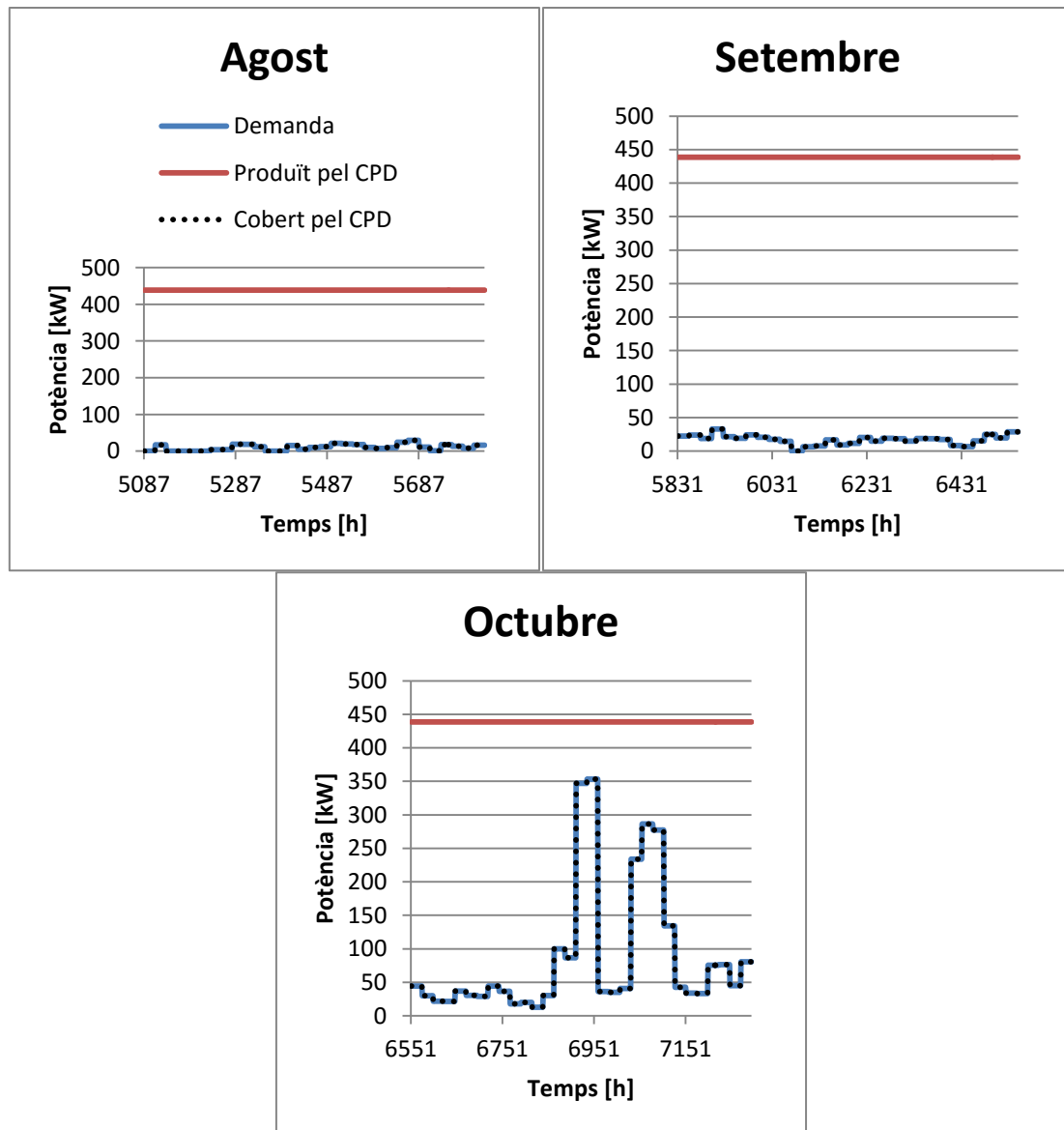


Figura 113: Demandes de calor dels mesos d'agost setembre i octubre i el que ens produeix el CPD.

En la Figura 114 i Figura 115 es pot veure la distribució de com es cobreix la demanda dels mesos corresponents. Com era d'esperar en tots els mesos en els que es produeix més calor del que és demandada, tota la demanda es cobreix directament amb el CPD (CPD) sense tenir que reaprofitar calor emmagatzemada ni el recolzament d'un equip auxiliar per cobrir la demanda.

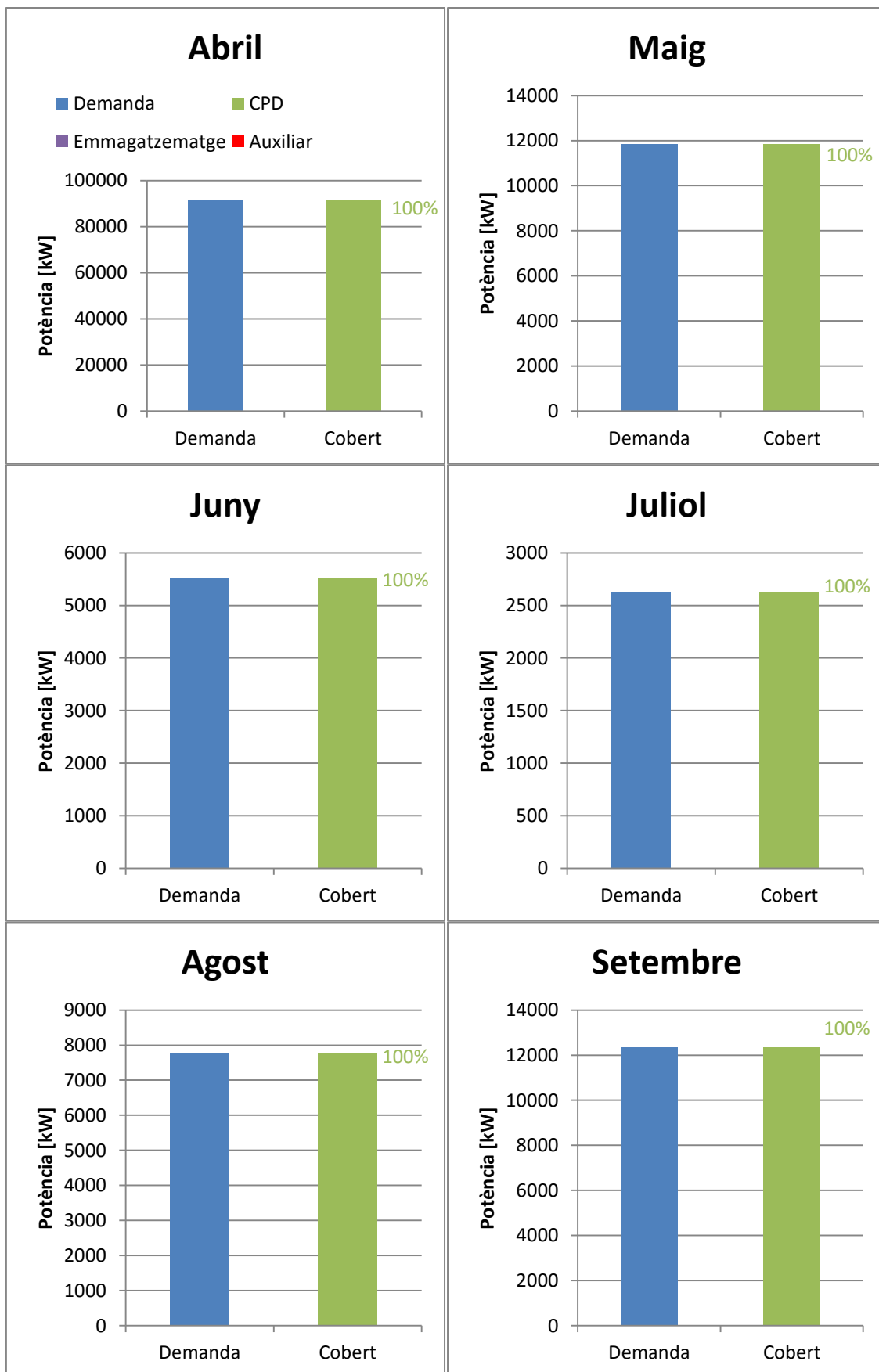


Figura 114: Distribució de com es cobreix la demanda durant els mesos on el que produeix el CPD sempre és superior a la demanda.

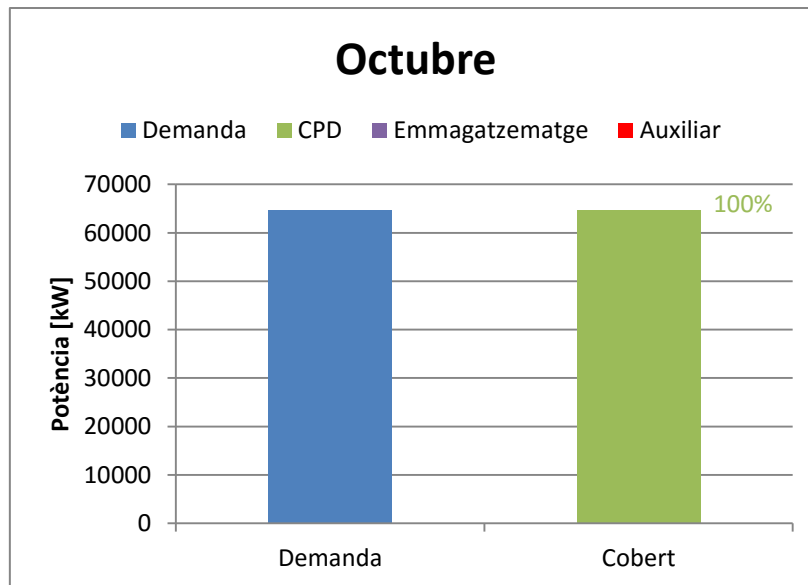


Figura 115: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes d'octubre.

En la Taula 45 es mostra la calor sobrant de tots els mesos que no pot ser reaprofitada al no tenir una font de consum relativament instantània. Per tant aquesta calor s'ha de dissipar en el ambient.

Mes	Calor a dissipar [kW]
Abril	224378,67
Maig	314505,61
Juny	310303,22
Juliol	323711,00
Agost	318572,33
Setembre	303458,06
Octubre	261630,39

Taula 45: Calor sobrant a dissipar en els mesos on la demanda és sempre inferior al que produïm.

En la Figura 116 hi ha representada la demanda del mes de novembre on es pot observar que en la majoria del mes podem cobrir la demanda gràcies al que s'ha anat emmagatzemant quan aquesta no era superior. Ara bé hi ha un interval on no es pot cobrir el 100%, per tant serà necessari un equip auxiliar.

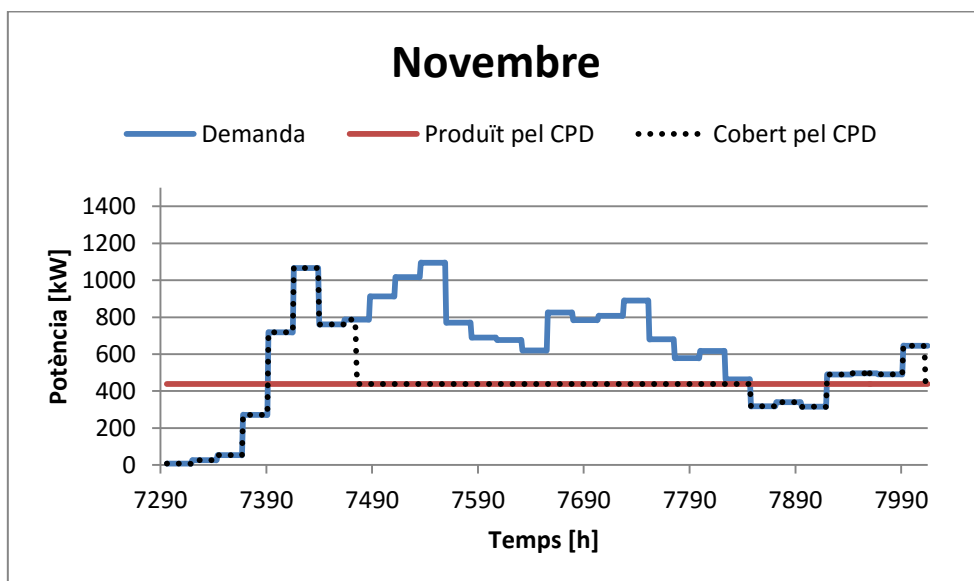


Figura 116: Demanda de calor del mes de novembre i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 117 es pot veure la distribució de com es cobreix la demanda del mes de novembre. Es pot veure que la major part de la demanda la podem cobrir directament amb el que produeix el CPD (62,71%), una mica més d'un quart de la demanda s'ha de cobrir amb un equip auxiliar (27,76%) i la resta es cobreix amb la calor emmagatzemada i reutilitzada posteriorment (9,53%).

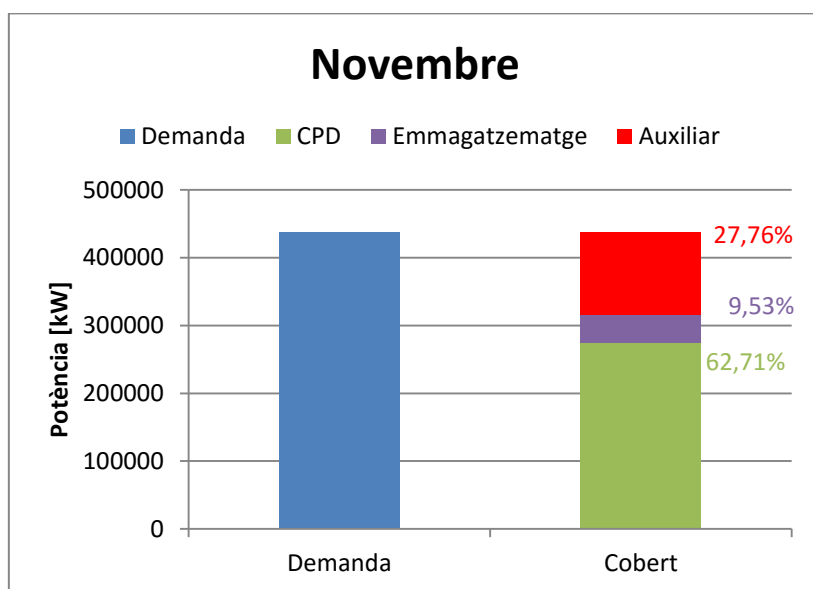


Figura 117: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de novembre.

En la Taula 46 s'hi observen les dades del mes de novembre. La demanda, el que cobrim amb el CPD ja sigui directament o amb la calor emmagatzemada i el que es cobreix amb l'equip

auxiliar. L'estalvi que s'aconsegueix i la potència màxima que haurà de subministrar l'equip auxiliar en un moment donat.

Demanda	437171,71 kW
CPD	274133,91 kW
Calor reaprofitada (Emmagatzematge)	41679,10 kW
Equip Auxiliar	121358,70 kW
Estalvi	72,24 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	655,87 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 46: Dades del mes de novembre.

En la Figura 118 es pot observar que en cap moment el produït pel CPD pot abastir el 100% de la demanda. Per tant en tot el mes serà necessari d'un equip auxiliar que supleixi aquesta mancança.

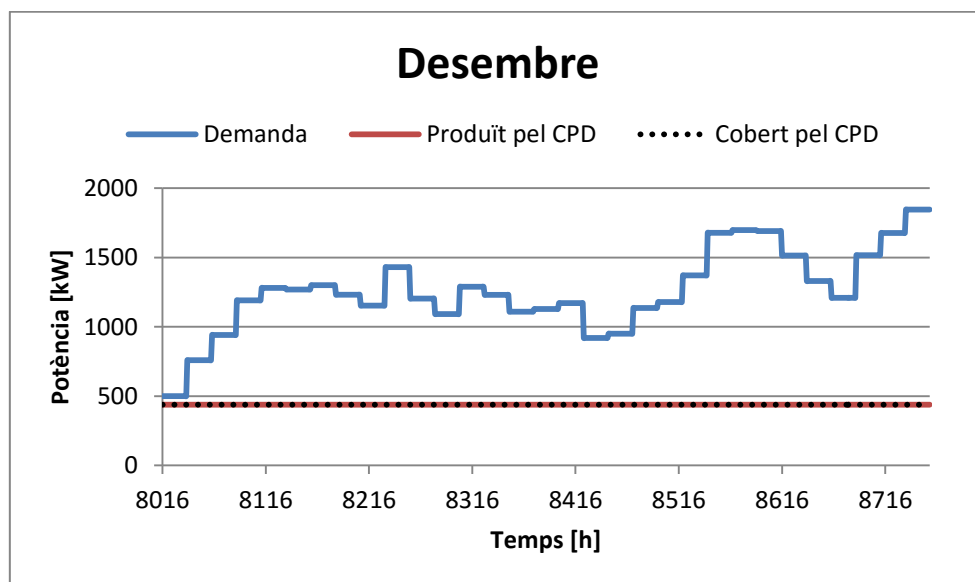


Figura 118: Demanda de calor del mes de desembre i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 119 es mostra la distribució de com es cobreix la demanda del mes de desembre. Com que no es pot emmagatzemar calor en cap moment observem que es reparteix entre l'equip auxiliar i el que produïm directament del CPD. En aquest cas veiem que l'equip auxiliar ha de cobrir quasi dos terços de la demanda (65,14%) mentre que la resta ho cobrim amb el que ens produeix directament el CPD (34,86%).

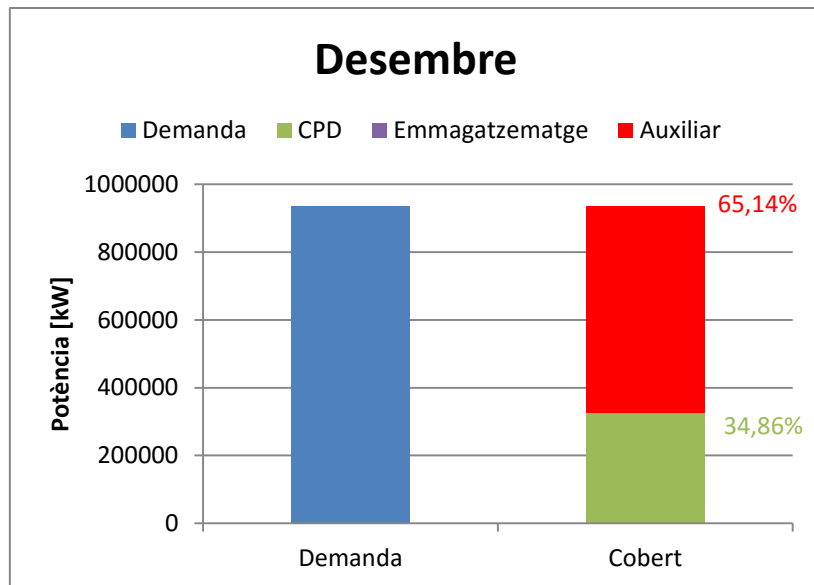


Figura 119: Distribució de com es cobreix la demanda durant el mes de desembre.

En la Taula 47 es plasmen les dades del mes de desembre. La demanda total, que es cobreix amb el CPD directament que cobrim amb la calor emmagatzemada (en aquest cas 0) i la calor que cobreix l'equip auxiliar. També es pot veure l'estalvi aconseguit, la potència màxima que haurà de subministrar l'equip auxiliar (caldera) i la calor sobrant a final de mes.

Demanda	936139,72 kW
CPD	326340,11 kW
Calor reaprofitada (Emmagatzematge)	-
Equip Auxiliar	609799,62 kW
Estalvi	34,86 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	1407,34 kW
Calor sobrant a final de mes	-

Taula 47: Dades del mes de desembre.

En la Taula 48 es mostra un resum de les dades anuals mes a mes. On les dades exposades són la demanda, el que cobreix el CPD total (produït més calor reaprofitat), el que ha de cobrir l'equip auxiliar, l'estalvi generat, la calor sobrant a final de cada mes i la potència màxima que haurà de subministrar l'equip auxiliar cada mes. Es pot observar que la potència màxima es dona al mes de gener (1440,58 kW), per tant necessitem instal·lar una caldera que com a mínim sigui capaç de subministrar aquesta potència. Observem també que no hi ha calor sobrant a final de l'any tot i que durant els mesos de març fins a octubre la calor sobrant s'ha de dissipar a l'ambient al no tenir una font de consum relativament instantània.

Mes	Demanda [kW]	CPD total [kW]	Equip auxiliar [kW]	Estalvi [%]	Calor sobrant a final de mes [kW]	Potència màxima caldera [kW]
Gener	1102678,94	326340,11	776338,84	29,60	-	1440,58
Febrer	767703,04	294758,81	472944,23	38,39	-	1192,70
Març	364574,85	298334,41	66240,43	81,83	46952,63	411,42
Abril	91434,34	91434,34	-	100	224378,67	-
Maig	11834,50	11834,50	-	100	314505,61	-
Juny	5509,78	5509,78	-	100	310303,22	-
Juliol	2629,11	2629,11	-	100	323711,00	-
Agost	7767,78	7767,78	-	100	318572,33	-
Setembre	12354,95	12354,95	-	100	303458,06	-
Octubre	64709,72	64709,72	-	100	261630,39	-
Novembre	437171,71	315813,01	121358,70	72,24	-	655,87
Desembre	936139,72	326340,11	609799,62	34,86	-	1407,34

Taula 48: Resum de les dades anual mes a mes.

5.6. Aigua Calenta Sanitària (ACS) en hospitals

5.6.1. Temperatura de servei

Els requisits mínims a nivell de temperatura per donar servei d'ACS és enviar aigua a l'usuari a una temperatura de 50 °C. Per tant la millor configuració serà la de l'escenari 4 (4 servidors en sèrie) que ens dóna una temperatura de servei màxima de 46,97 °C. Observem que no s'arriba a la temperatura de servei, per tant necessitarem d'un equip auxiliar (bomba de calor) per tal d'arribar-hi. Igualment que s'ha procedit en el punt 5.1.1. Com que les temperatures són les mateixes i el cabal que ens surt del CPD és el mateix la manera de dimensionar la bomba és la mateixa donant el mateix resultat sent aquest de 118,66 kW com a mínim per poder subministrar aquest servei.

5.6.2. Potència

Es considera una superfície igual a l'estudiada en el punt 5.5.2 de 59000 m². Com es pot observar en la Figura 54 la demanda d'ACS en un hospital és durant tot l'any. Per tant l'energia que ens proporciona el CPD anualment és la calculada en l'equació Eq. (18) 3842772,77 kWh. Per tal de calcular a quants hospitals es pot donar servei s'aplica l'equació Eq. (16) donant com a resultat 2 hospitals. Una vegada sabut la superfície i el nº d'edificis podem obtenir el perfil real de demanda. En la Figura 120 hi ha representada la "duration curve" de la demanda real i el que ens produeix el CPD. Podem veure que hi ha moments on la demanda és superior al que produïm i viceversa. Per tant s'ha fet un estudi mes a mes per veure si en els moments que podem emmagatzemar calor és suficient per cobrir la demanda quan aquesta és superior.

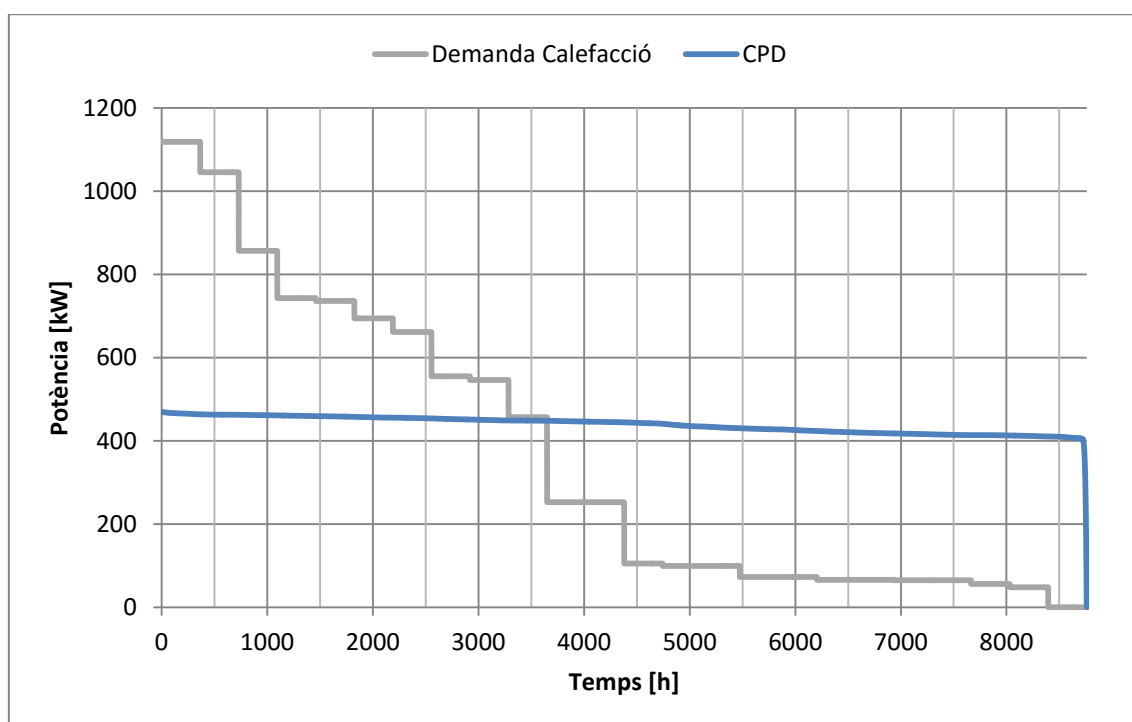


Figura 120: "Duration curve" de la demanda d'ACS en dos hospitals per un any. I la representació del que ens proporciona el CPD.

En la Figura 121 es representa la demanda d'ACS, el que ens produeix el CPD i el que ens pot cobrir durant el mes de gener. Es pot veure que en principi hi ha durant unes hores que no és

possible cobrir el 100% de la demanda amb el CPD. Per tant necessitarem d'un equip auxiliar (caldera) per cobrir aquesta demanda.

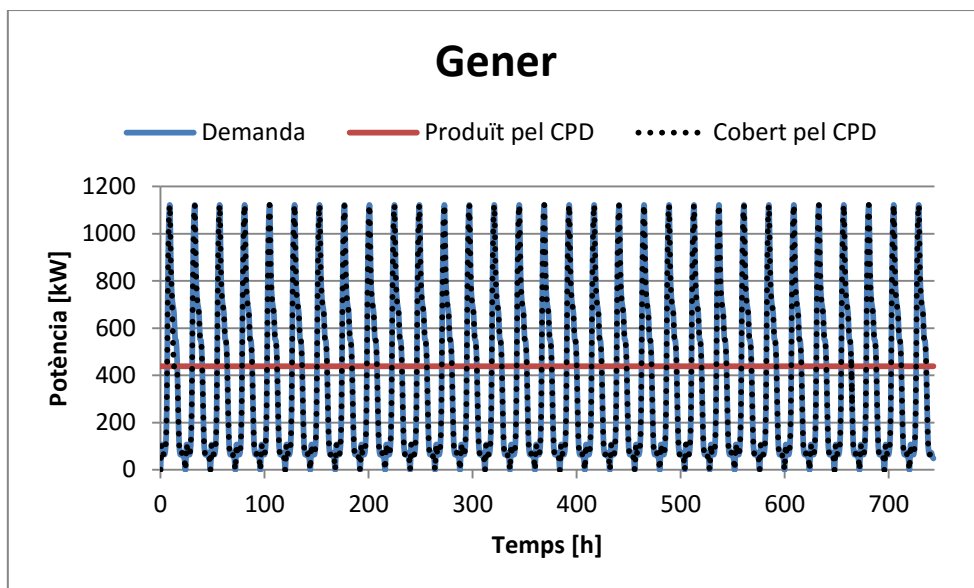


Figura 121: Demanda d'ACS del mes de gener i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 122 es mostra com es distribueix la demanda segons la font que la cobreix. Es pot observar que la major part de la demanda es pot cobrir directament amb el CPD (65,33%), mentre que quasi bé un terç de la demanda la cobrim amb la calor emmagatzemada i reutilitzada posteriorment (34,44%) i la resta és necessari un equip auxiliar (0,23%).

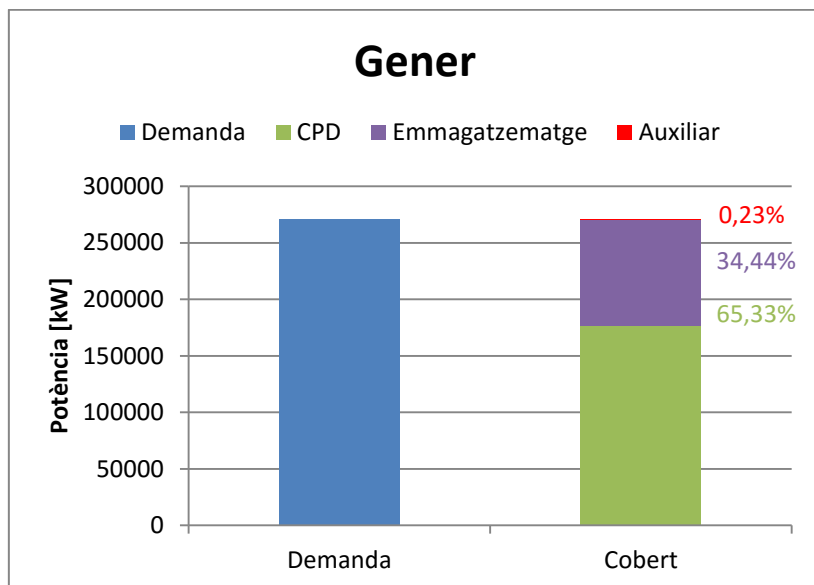


Figura 122: Distribució de la demanda del mes de gener.

En la Taula 49 es mostren les dades del mes de gener de demanda, la part de la demanda que es cobreix directament amb el CPD, la part de demanda coberta emmagatzemant calor i reutilitzant-la i la part coberta amb l'equip auxiliar. També es mostra l'estalvi aconseguït, la potència màxima que ha de subministrar l'equip auxiliar i la calor sobrant a final de mes.

Demanda	270810,90 kW
CPD	176920,35 kW
Calor reaprofitada (Emmagatzematge)	93271,33 kW
Equip Auxiliar	619,22 kW
Estalvi	99,77 %
Potència màxima de l'equip auxiliar	223,05 kW
Calor sobrant a final de mes	56148,43 kW

Taula 49: Dades resum del mes de gener.

Com es pot veure hi ha un romanent de calor sobrant al final de mes, el qual es pot emmagatzemar per ser aportat els següent mes. Com es pot veure en la Figura 123 gràcies a aquesta calor romanent del mes de gener podem cobrir el 100% de la demanda del mes següent. La demanda és constant durant tota la resta de mesos, per tant tots els mesos són igual. Obtenint un romanent de calor al final de l'any de 2117362,26 kW el qual es podria utilitzar per tal de cobrir la demanda del principi de l'any següent al mes de gener. Eliminant així l'equip auxiliar.

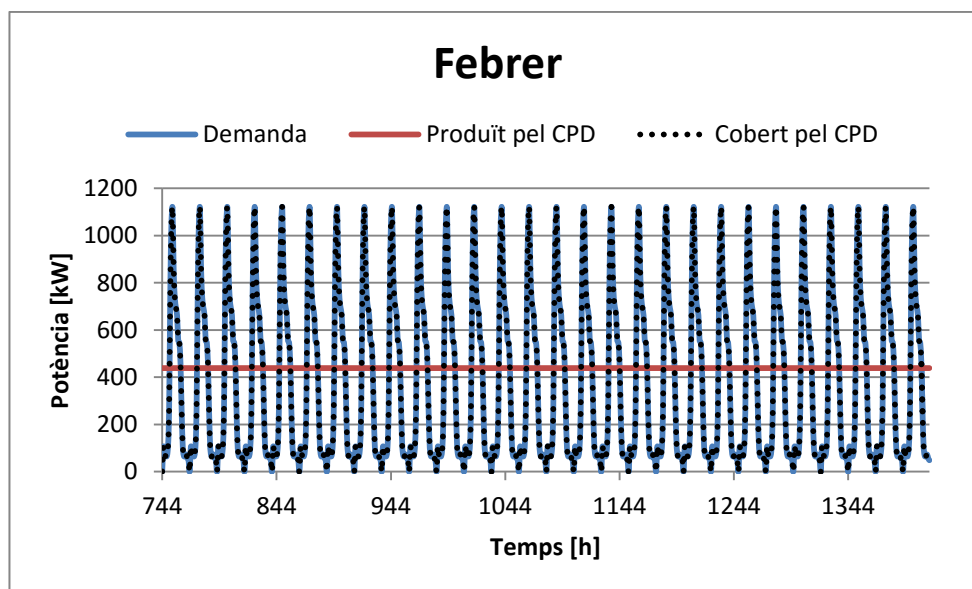


Figura 123 Demanda d'ACS des dels mes de febrer i el que ens aporta el CPD.

En la Figura 124 i Figura 125 es reflexa com es distribueix la demanda segons la font que la cobreix durant tots els mesos de l'any. Podem veure que en línies generals la demanda es cobreix quasi bé en dos terços per part del CPD directament i un terç gràcies a la calor emmagatzemada i reutilitzada posteriorment.

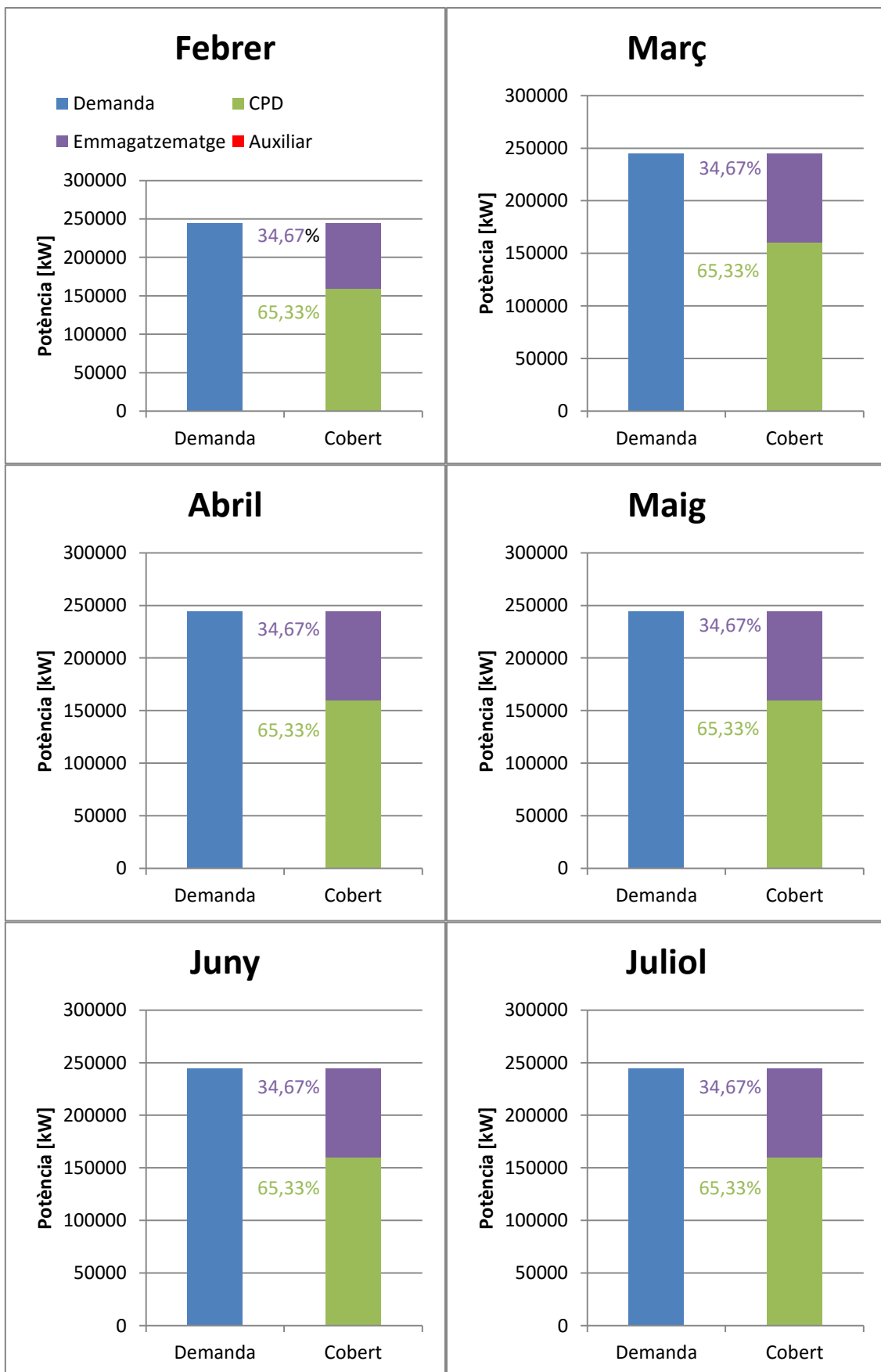


Figura 124: Distribució de la demanda segons com es cobreix des del mes de febrer fins al mes de juliol.

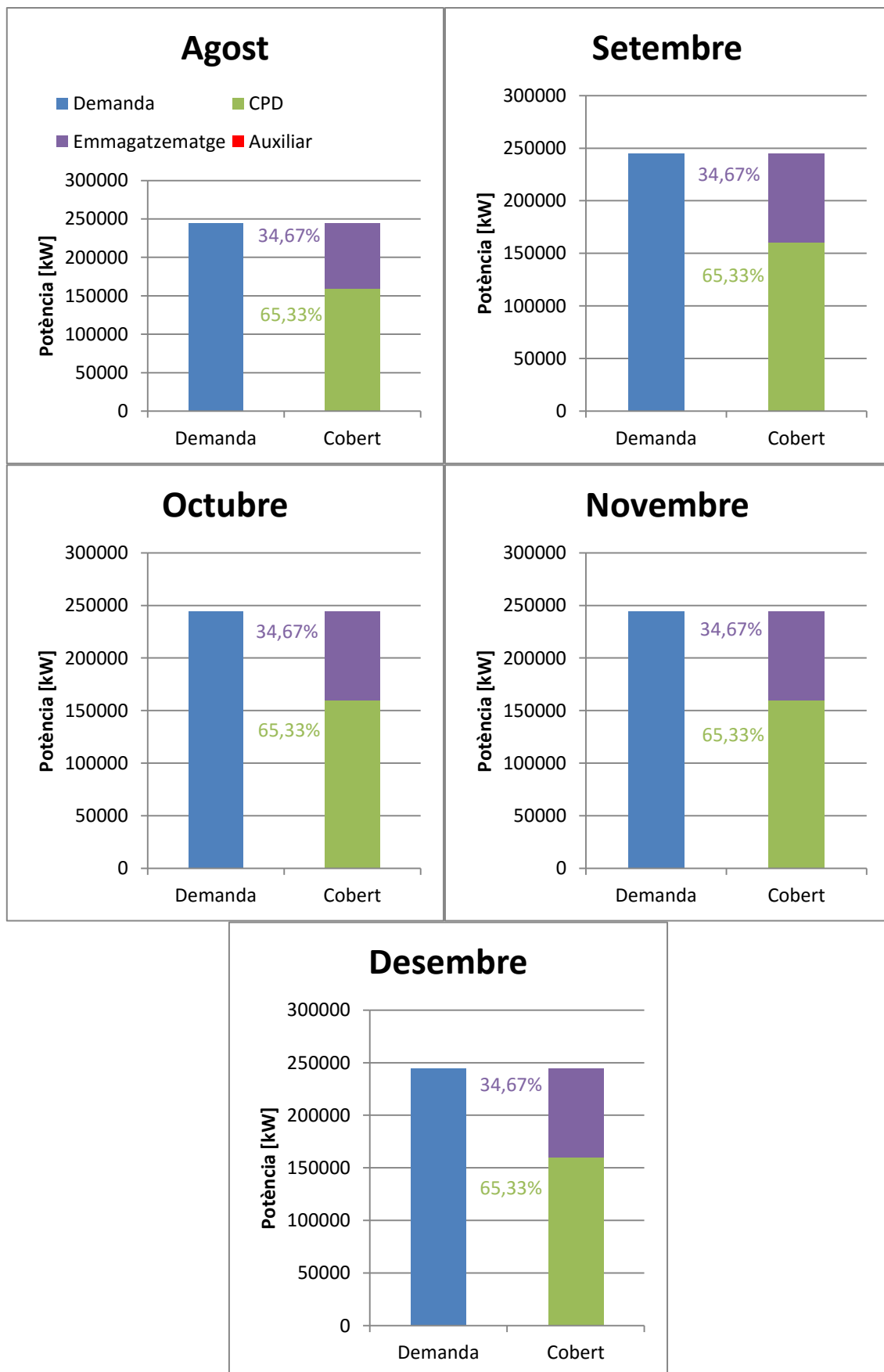


Figura 125: Distribució de la demanda segons com es cobreix dels últims cinc mesos de l'any.

En la Taula 50 es mostra el resum de dades anual mes a mes. La demanda, la part de la demanda cobert pel CPD (directament i amb la calor emmagatzemada) i la part de demanda cobert per l'equip auxiliar. També es mostra l'estalvi aconseguit i la calor sobrant a final de mes. Així com la potència màxima que ha de subministrar l'equip auxiliar (caldera), que en aquest cas és al mes de gener (223,05 kW). Per tant l'equip auxiliar a instal·lar ha de subministrar com a mínim aquesta potència. La calor sobrant a final d'any podria ser reutilitzada l'any següent eliminant així l'equip auxiliar. Sinó és així, aquesta calor s'ha de dissipar en l'ambient.

Mes	Demanda [kW]	CPD total [kW]	Equip auxiliar [kW]	Estalvi [%]	Calor sobrant a final de mes [kW]	Potència màxima caldera [kW]
Gener	270810,90	270191,68	619,22	99,77	56148,43	223,05
Febrer	244603,39	244603,39	-	100	106303,84	-
Març	270810,90	270810,90	-	100	161833,05	-
Abril	262075,06	262075,06	-	100	215571,00	-
Maig	270810,90	270810,90	-	100	217362,26	-
Juny	262075,06	262075,06	-	100	215571,00	-
Juliol	270810,90	270810,90	-	100	217362,26	-
Agost	270810,90	270810,90	-	100	217362,26	-
Setembre	262075,06	262075,06	-	100	215571,00	-
Octubre	270810,90	270810,90	-	100	217362,26	-
Novembre	262075,06	262075,06	-	100	215571,00	-
Desembre	270810,90	270810,90	-	100	217362,26	-

Taula 50: Resum dades anuals mes a mes.

Conclusions

En la Taula 51 s'hi representen les dades anuals de cada aplicació d'estudi que fan referència a les temperatures de funcionament, la temperatura que s'obté directament del CPD i la potència de la bomba de calor necessària per assolir la temperatura de funcionament en el cas que la temperatura obtinguda directament del CPD sigui inferior.

Aplicació	T funcionament [°C]	T CPD [°C]	Potència Bomba de Calor [kW]
Calefacció BT	50,00	43,19	118,66
Piscines Cobertes	24-30	26,84	-
ACS habitatge	50,00	43,19	118,66
Calefacció oficines	80,00	43,19	641,29
Calefacció hospitals	80,00	43,19	641,29
ACS hospitals	50,00	43,19	118,66

Taula 51: Taula resum de les temperatures de funcionament, la temperatura de sortida del CPD i la bomba de calor necessària per a cada aplicació anualment.

En la Taula 52 està representada la part de la demanda anual que pot cobrir el CPD (directament i amb calor emmagatzemada) i la part de la demanda anual que haurà de cobrir l'equip auxiliar. A més a més també s'hi inclou l'estalvi anual que representa la reutilització de la calor generada en el CPD, la potència màxima que ha de subministrar l'equip auxiliar per cada aplicació i la calor sobrant anualment la qual s'ha de dissipar en l'ambient.

Aplicació	Potència coberta pel CPD [MW]	Potència coberta per l'Equip auxiliar [MW]	Estalvi [%]	Potència màxima de l'Equip auxiliar [kW]	Calor a dissipar [MW]
Calefacció BT*	1472,56	1085,74	57,56	1266,50	2274,82
Piscines Cobertes	4754,67	-	100,00	-	861,78
ACS habitatge	3713,70	128,80	96,65	616,55	128,80
Calefacció oficines*	1471,08	1081,44	57,63	2162,68	2371,31
Calefacció hospitals	1757,83	2046,68	46,20	1440,58	2084,56
ACS hospitals	3187,96	0,62	99,98	223,05	654,43

Taula 52: Taula resum de la potència que cobreix el CPD, la potència que cobreix l'equip auxiliar, l'estalvi, la potència màxima que ha de cobrir l'equip auxiliar i la calor a dissipar per a cada aplicació anualment. *Aplicacions on hi ha mesos que la demanda és nul·la.

En línies generals es pot observar que utilitzar el CPD com a central tèrmica per a la generació de calor s'adapta molt millor en aplicacions d'ACS. Ja sigui per habitatges convencionals o per edificis destinats a un servei específic com pot ser un hospital. Primerament, per les temperatures de servei. Les quals en aquestes aplicacions són molt més properes a les que obtenim del CPD directament. D'aquesta manera tenint que utilitzar una bomba de calor de menys potència (118,66 kW) que en les aplicacions de calefacció convencional (641,29 kW). A nivell de demanda de calor en les aplicacions d'ACS la demanda és durant tot l'any, és a dir, no tenim cap interval de temps relativament llarg on la demanda sigui nul·la i per tant la calor a dissipar al mediambient és molt inferior a altres aplicacions (entre 128,80 MW i 654,43 MW anuals). Per aquesta raó, tots els intervals on la demanda és inferior al que produïm mitjançant el CPD pot ser emmagatzemada per poder-la subministrar posteriorment. D'altra banda podem observar que en aquest tipus d'aplicacions el mínim que cobreix el CPD, respecte la demanda, durant tot l'any és del 91,10% (ACS en habitatge el mes de juny). Així doncs el equip auxiliar que s'hauria d'instal·lar per cobrir la demanda total és mínim (616,55 kW). L'estalvi anual que ens proporciona la utilització d'aquesta tecnologia en aplicacions d'ACS és entre 96,65% i 99,98%. Una menció especial per l'aplicació de l'aigua calenta en piscines cobertes, ja que en aquest cas la temperatura que s'obté directament del CPD (26,84 °C) està dintre del interval de la temperatura de funcionament (24-30 °C). Per tant no és necessari cap tipus de bomba de calor per elevar la temperatura. Per part de la demanda de calor, durant tot l'any es cobreix la demanda únicament amb el CPD. Per tant l'estalvi és del 100% però ens queda un romanent de calor durant tot l'any el qual s'ha de dissipar i no pot ser reaprofitat.

Pel que fa a les aplicacions de calefacció a nivell de temperatures el que se'ns adapta millor és la calefacció de baixa temperatura (50 °C), tot i així serà necessari instal·lar una bomba de calor (118,66 kW) per tal d'assegurar que la temperatura de servei sigui la estipulada. Ja que el CPD ens subministra aigua a una temperatura de 43,19 °C. Per calefaccions d'emissors de calor convencional la temperatura de servei és major (80 °C) i per tant l'equip auxiliar de bomba de calor haurà de ser més potent (641,29 kW). A nivell de demandes de calor podem veure una diferència substancial entre la calefacció per habitatges, ja sigui de baixa temperatura o d'emissors de calor convencionals, i la calefacció en un hospital. Ja que la demanda en habitatges tenim uns mesos on la demanda és completament nul·la i per tant durant aquests mesos tota aquesta calor ha de ser dissipada sense poder ser aprofitada. Ara bé en un hospital la demanda de calefacció la tenim durant tot l'any en major o menor mesura. Per tant seria més eficient donar el servei de calefacció en un hospital ja que la calor a dissipar a final d'any és menor (2084,56 MW) tot i que l'estalvi sigui menor també (46,20%). Ara bé, en el cas dels hospitals podem observar que des del mes de abril fins al mes d'octubre cobrim el 100% de la demanda en tots els casos. D'altra banda els mesos restants el que cobrim oscil·la entre aproximadament el 30 i el 80% de la demanda. Per tant durant 5 mesos necessitem d'un equip auxiliar que ens acabi de cobrir la demanda. En els altres dos casos (calefacció de Baixa Temperatura i calefacció convencional) els mesos de març, abril, maig, octubre i novembre cobrim quasi bé el 100% de la demanda. D'altra banda el que cobrim els mesos de gener, febrer i desembre oscil·la entre el 35 i el 76%. Per tant necessitem d'un equip auxiliar durant 3 mesos de l'any. Tenint major quantitat de calor a dissipar anualment (2274,82 – 2371,31 MW) tot i que s'obté un major estalvi (57,56-57,63 %).

Finalment podem dir que és una bona tecnologia per cobrir un servei quasi al 100% si ens referim a servei d'ACS i una tecnologia no suficientment potent per cobrir les demandes de calefacció els intervals on aquesta és màxima tot i que ens produeix un estalvi considerable

sent el mínim del 30%. A més a més és una tecnologia que respecta el mediambient ja que alleugereix la càrrega de treball dels equips que s'utilitzen convencionalment per generar aquesta calor (caldera) que normalment són equips on hi ha lloc una combustió. I com a tota reacció de combustió els gasos generats afavoreixen a l'efecte hivernacle. A més a més el combustible utilitzat normalment és gas natural el qual és un combustible provinent d'una font fòssil, és a dir amb una vida útil determinada i amb vies d'extinció a mig-llarg termini. A més a més utilitza una calor residual que d'una altra manera no tindria aplicació i tindria que ser dissipada al mediambient i seria desaprofitar una energia que té un potencial d'utilització.

Bibliografia

- [1] EU, «European Commission Horizon 2020,» 2013. [En línia]. Available: <http://www.eshorizonte2020.es/que-es-horizonte-2020;> <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/what-horizon-2020>. [Últim accés: Octubre 2015].
- [2] EU, «European Commission Energy Area,» 2013. [En línia]. Available: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/energy#Article>. [Últim accés: Octubre 2015].
- [3] EU, «European Comission Energy Area ("Secure, Clean and Efficient Energy"),» 2013. [En línia]. Available: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/secure-clean-and-efficient-energy#Article>. [Últim accés: Octubre 2015].
- [4] Google, «Google Centro de datos,» [En línia]. Available: <http://www.google.com/intl/es-419/about/datacenters/gallery/#/tech>. [Últim accés: Octubre 2015].
- [5] Eduard Oró, Andreu Carbó, Jaume Salom, Mauro Canuto, Mario Macías, Jordi Guitart, «Experimental and numerical analysis for potential heat reuse in liquid cooled data centres,» Tarragona, Barcelona, 2015.
- [6] SIMS, «SIMS Recycling solutions,» [En línia]. Available: <http://www.simsrecycling.com/Newsroom/Infographics/Infographic-Data-Center>. [Últim accés: 18 Enero 2016].
- [7] Emerson Network Power, Energy Logic: Reducción del consumo de energía del centro de proceso de datos mediante la creación de ahorros que forman una cascada entre los sistemas, Ohio.
- [8] IREC, «Institut de Recerca en Energia de Catalunya,» [En línia]. Available: <http://www.irec.cat/l-irec/presentacio-de-lirec.html>. [Últim accés: 19 Febrero 2016].
- [9] Andreu Carbó, Eduard Oró, Jaume Salom, Mauro Canuto, Mario Macías, Jordi Guitart, «Experimental and numerical analysis for potential heat reuse in liquid cooled data centres,» Barcelona, 2015.
- [10] Federación Española de Municipios y Provincias FEMP, Francisco Díaz Latorre FEMP, Eduardo Peña González FEMP, Ana Barroso Bosqued FEMP, Marta Rodríguez-Gironés FEMP, Red Española de Ciudades, Oficina Española de Cambio Climático, Climatización urbana en las ciudades españolas, 2012.
- [11] DistriClima, «Guia Técnica del Cliente. Redes Urbanas de Calor y Frío,» Barcelona, 2014.

- [12] E. Oró, «Waste heat application information,» 2015.
- [13] Peter Kaarup Olsen, Christian Holm Christiansen, Morten Hofmeister, Svend Svendsen, Jan-Eric Thorsen, «Guidelines for Low-Temperature District Heating,» Dinamarca, 2014.
- [14] Teresa Batlle, Felipe Pich-Aguilera, «La revitalización de unos antiguos cuarteles a partir de un nuevo espacio climático. Sistemas de validación de los aspectos de reducción de la demanda energética de los edificios.,» Lleida, 2013.
- [15] Instiuto Valenciano de la edificación, «Data hub for the energy performance of buildings,» [En línea]. Available: <http://www.buildingsdata.eu/>. [Últim accés: Octubre 2015].
- [16] Albert Salas (Institut Català de l'Energia), Manel Sant Martí (ISUNO), Núria Valero (ISUNO), L'energia a els instal·lacions esportives, Barcelona, 2012.
- [17] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Guía técnica de calefacción individual, Madrid, 2008.
- [18] Institut de recerca en energia de catalunya, «Demandes edificaicó vivenda,» Barcelona.
- [19] Instituto nacional de estadística, «INE,» [En línea]. Available: Font: <http://www.ine.es/ss/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=attachment%3B+filename%3Dpags43-52.pdf&blobkey=urldata&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=818%2F459%2Fpags43-52.pdf&ssbinar>. [Últim accés: Deseembre 2015].
- [20] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Guía técnica Agua Caliente Sanitaria, Madrid, 2010.
- [21] Michael Dolman, Ian Walker, Andrew Wright, Graeme Stuart, Demand side response in the non-domestic sector, Oxford, 2012.
- [22] Juan A. de Isabel, Mario García Galludo, Carlos Egido Ramos, Guía de auditorías energéticas en edificios de oficinas en la Comunidad de Madrid, Madrid, 2009.
- [23] Josep V. Marín Vitalla, Hospital Arnau de Vilanova, *Factures de consum de gas*, Lleida, 2015.
- [24] Institut Català de la Salut, «Institut Català de la Salut Hospital Arnaud de Vilanova,» [En línea]. Available: <http://www.icslleida.cat/hospital/directori>. [Últim accés: 15 Deseembre 2015].
- [25] Insitut de Recerca en Energia de Catalunya, «Estudi tèrmic d'un Hotel,» Barcelona, 2015.

[26] Pirobloc, «Pirobloc,» 2 Juny 2015. [En línia]. Available: <http://www.pirobloc.com/blog-es/aceite-termico-mineral/#.VsYJx3q5ZHw>. [Últim accés: 15 Febrer 2016].